

[illegible]

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

”_____” _____ 2019р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки _____ 6.050802 Електронні пристрої та системи
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Бездротовий зарядний пристрій

Виконав: студент 4 курсу, групи ДС-51

Мартюхін Ігор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц. каф. ФЕЛ, Вербицький Євген Володимирович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти: Технічний розділ

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра промислової електроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050802 Електронні пристрої та системи
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко
(підпис) (прізвище ініціали)

« » 2019 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Мартюхину Ігорю Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Бездротовий зарядний пристрій

Керівник проекту Вербицький Євген Володимирович, к.т.н. доц.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 23 » березня 2019 року № 1008-с

2. Строк подання студентом проекту 11.06.2019 р.

3. Вихідні дані до проекту вхідна напруга перетворювача $U=380$ В, напруга заряджання акумулятора $U=400-600$ В, потужність зарядного пристрою 660 кВт

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд бездротової передачі енергії; розробка схем електричної структурної та електричної принципової перетворювача; моделювання процесів перетворювача у програмному середовищі.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Плакати: схема структурна, схема електрична принципова, модель схеми електричної принципової

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз та дослідження роботи бездротових систем заряджання	23.02 – 20.03	
2	Розробка структурної схеми	21.03 – 05.04	
3	Розробка принципової схеми	06.04 – 20.04	
4	Розрахунок сил опору	21.04 – 07.05	
5	Розрахунок ємності батареї	08.05 – 17.05	
6	Розрахунок перетворювача	18.05 – 26.05	
7	Моделювання в програмі	27.05 – 05.06	
8	Підготовка до захисту ДП	07.06 – 17.06	
9	Захист ДП	18.06 – 20.06	

Студент

(підпис)

І.А. Мартюхін

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Є.В. Вербицький

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті досліджено бездротову систему заряджання громадського транспорту, що буде заряджатися на кожній зупинці. Показано, що використання Interleaved Sepic тип перетворювача є найдоцільнішим, бо здатний обробляти більшу потужність зі зменшеними пульсаціями та спотвореннями гармонік. Також на виході зберігається полярність вхідної напруги, здійснюється м'яка комутація транзисторів та зменшуються динамічні втрати. Проведено розрахунки необхідної енергії для руху електротранспорту між зупинками та сил, які діють на транспортний засіб під час руху. Для забезпечення необхідних зарядних та розрядних характеристик запропоновано використовувати суперконденсатори в якості батареї. Виконано моделювання силової частини зарядного пристрою у середовищі PSIM на прикладі однієї фази.

Ключові слова: бездротова система заряджання, ємнісна батарея, статична бездротова передача енергії.

ABSTRACT

The diploma project explores the wireless system for charging public transport, which will be charged at each stop. It is shown that the use of the Interleaved Sepic converter type is most suitable because it is capable of handling more power with reduced pulsations and distortions of harmonics. Also, the output polarity of the input voltage is maintained, the soft switching of the transistors is carried out and the dynamic losses are reduced. The calculations of the required energy for the electric transport movement between the stops and the forces acting on the vehicle during the movement are carried out. To provide the required charging and discharge characteristics, it is suggested to use super-capacitors as a battery. The simulation of a power unit of a charger in a PSIM environment is performed on a one-phase example.

Keywords: wireless charging system, capacitive battery, static wireless transmission of energy.

ЗМІСТ

1. БЕЗДРОТОВА СИСТЕМА ЗАРЯДКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	6
1.1. Основний принцип роботи бездротової системи заряджання.....	6
1.2. Бездротові методи передачі енергії.....	7
1.2.1 Ємнісна бездротова передача потужності.....	7
1.2.2 Індуктивна передача потужності.....	9
1.2.3 Резонансна індуктивна передача потужності	9
1.3 Статична бездротова система зарядки електричних транспортних засобів	11
1.4. Динамічна бездротова система зарядки електричних транспортних засобів	14
1.5 Аналіз видів передачі енергії.....	16
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОБУСА	23
2.1 Схема електрична структурна	23
2.2 Схема електрична принципова	23
2.3. Перетворювач для живлення системи керування.....	25
2.4 Розрахунок енергетичних показників руху транспортного засобу	27
2.4.1 Розрахунок сил опору, які діють на транспортний засіб	27
2.4.2 Розрахунок сил опору	30
2.4.3 Розрахунок ємності системи акумулювання.....	35
2.4.4 Система балансування.....	38

					ДС51.511204.001.ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Мартюхін І.А.		11.06.19	Бездротовий зарядний пристрій Пояснювальна записка				Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Вердицький Є.В.		11.06.19							3		58	
Н. Контр.		Батрак Л.М.		11.06.19					НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, ФЕЛ каф. ПЕ					
Затверд.		Вердицький Є.В.		11.06.19										

2.5 Розрахунок елементів схеми	40
2.6 Розрахунок драйвера.....	45
3.МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ЗАРЯДНОГО ПРИБОРУ.....	47
3.1 Моделювання у середовищі PSIM.....	47
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	55
ABSTRACT	

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Бездротові системи зарядки (БСЗ) у порівнянні з дротовими системами зарядки, можуть принести більше переваг, а саме: зручність та простота користування і можливість безконтактно заряджати електричні пристрої. Існує два типи бездротової передачі енергії: динамічний та статичний. В статичному типі акумулятор заряджається в певних точках заряджання, які розташовуються на певній відстані одна від одної. В той же час при динамічному типі заряджання акумулятор може заряджатися постійно, тому що вздовж маршруту руху транспортного засобу (ТЗ) розташований бездротовий канал передавання енергії. Статичний тип передачі є комерційно вигіднішим, в наслідок розташування зарядних точок на певній відстані, а не на всьому шляху руху, як у випадку з динамічним типом передачі енергії. [1]. Разом з тим ємність акумулятора зі статичним БСЗ повинна бути розрахована на відстань однієї зупинки на маршруті. Тому в роботі було досліджено такий режим роботи заряджання транспортних, що дозволяє заряджати акумуляторні пристрої під час зупинки транспортного засобу. В наслідок цього ТЗ вимагає меншої ємності акумуляторної батареї зі збереженням необхідної дальності ходу [2]. Тим не менш, статична БСЗ зіштовхнулася з двома основними перешкодами: великим повітряним зазором і зміщенням котушки. Ефективність передачі потужності залежить від розміщення котушки та повітряним проміжком між джерелом і приймачем. Середня відстань повітряного зазору коливається від 150 до 300 мм для малих пасажирських автомобілів, тоді як для великих транспортних засобів вона може збільшуватися [3,4]. Як найбільш ефективні розглядаються бездротові трансформаторні структури на основі Серіс перетворювача для бездротового заряджання.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. БЕЗДРОТОВА СИСТЕМА ЗАРЯДКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1. Основний принцип роботи бездротової системи заряджання

Зарядка електричних транспортних засобів через провід завжди має ризик для безпеки, який обумовлюється прямим контактом з зарядним пристроєм. Щоб уникнути цього, були розроблені системи зарядки електричних транспортних засобів на основі індуктивної передачі потужності (ІПП). ІПП працює завдяки явищам електромагнітної індукції і передає потужність через повітряний трансформатор з близько розташованими первинними та вторинними котушками. Котушки фізично не з'єднані один з одним, а електрично ізольовані.

Індуктивна передача потужності була успішно реалізована для зарядки акумуляторів ТЗ. Цей метод показав перспективність високої передачі потужності з невеликим повітряним зазором, однак при збільшенні повітряного зазору між первинною і вторинною котушками продуктивність різко зменшується, через індуктивність витoku [1].

Основна блок-схема статичного БСЗ для електричних транспортних засобі (ЕТЗ) показана на рис.1.1. Для забезпечення передачі потужності, змінний струму від мережі перетворюється в високочастотний (ВЧ) змінний через АС / DC і DC / АС перетворювачі [4]. Приймач, який зазвичай встановлений під транспортним засобом, перетворює потік отриманої електроенергії на стабільне джерело постійного струму, яке вже потім використовується бортовими батареями. Система контролю потужності та управління батареєю (СУБ) використовується, щоб уникнути будь-яких проблем із безпекою та для забезпечення стабільної роботи.

З моменту впровадження систем бездротової зарядки для ЕТЗ було використано три методики для проектування: традиційна індуктивна передача потужності (ІПП), ємнісна бездротова передача потужності (ЄБПП) і резонансна індуктивна передача потужності (РІПП) [5,6].

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі буде розглянуто ці методи передачі енергії більш детально.

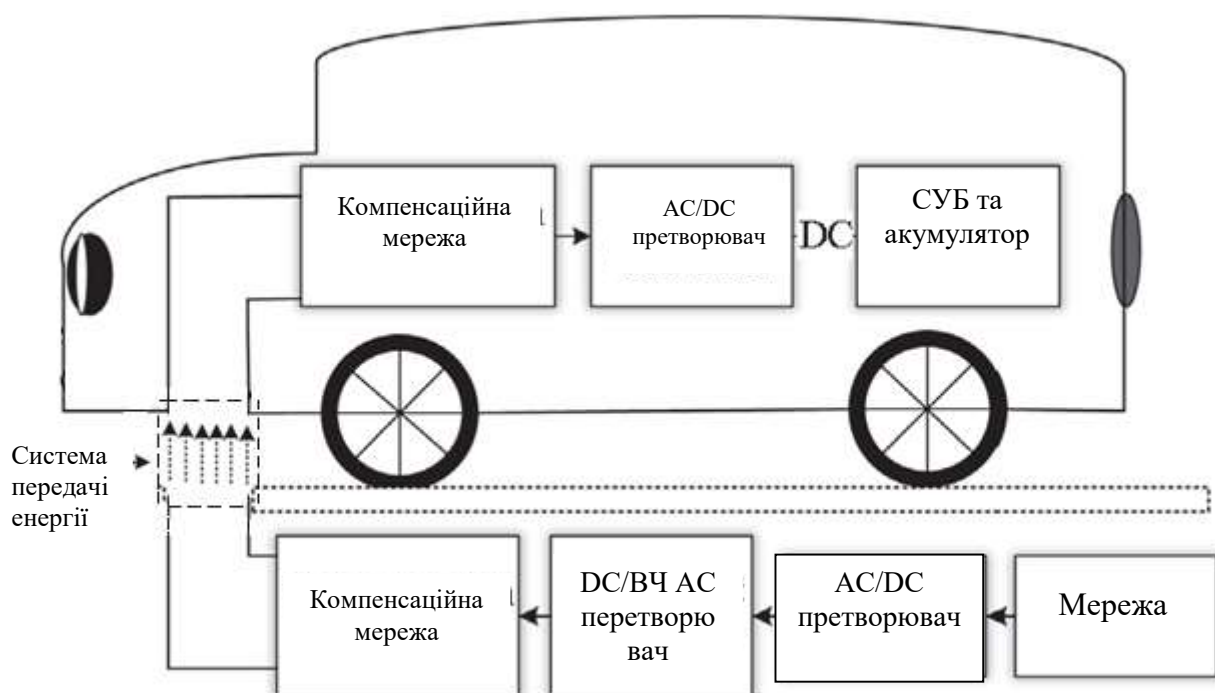


Рис.1.1 Основна блок-схема системи статичної бездротової зарядки для ЕТЗ

1.2. Бездротові методи передачі енергії

1.2.1 Ємнісна бездротова передача потужності

Низька вартість і простота технології ЄБПП, за рахунок використання сучасних структур конденсаторів, дуже корисна для малопотужних застосувань, таких як портативні електронні пристрої і зарядні пристрої стільникових телефонів.

На рис. 1.2 показана типова принципова схема послідовного резонансного контуру на основі ЄБПП. У ЄБПП, конденсатори зв'язку використовуються для передачі потужності від джерела до приймача замість котушок або магнітів.

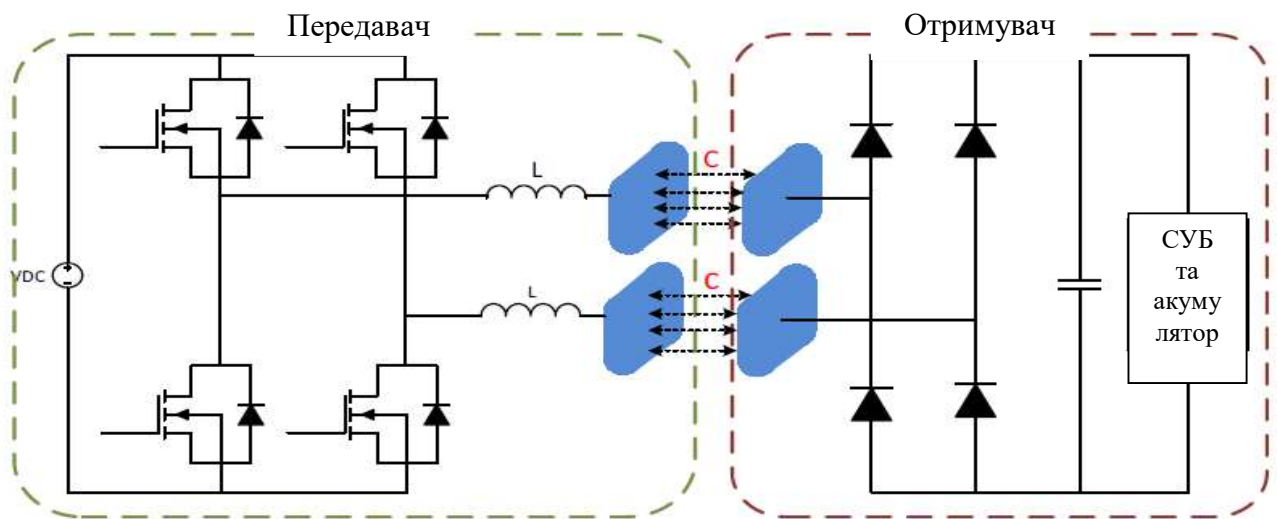


Рис.1.2 Принципова схема ємнісного бездротового перенесення енергії

Основна напруга змінного струму подається на мостовий перетворювач через схему корекції коефіцієнта потужності. Висока частота змінного струму, що генерується мостом, проходить через конденсатори зв'язку на сторону приймача. На відміну від ІПП, ЄБПП працює як для високої напруги, так і для низького струму. Для зменшення імпедансу між сторонами передавача і приймача при резонансному розташуванні додаткові індуктивності додаються послідовно з конденсаторами зв'язку. Отримана змінна напруга перетворюється в постійний струм для акумуляторної батареї або навантаження з використанням схеми випрямляча і фільтра. Рівень передачі потужності повністю залежить від розміру конденсатора і відстані між двома пластинами. Для невеликого повітряного зазору ЄБПП пропонує відмінну продуктивність і кращі обмеження поля, що розвиваються між двома пластинами конденсаторів. На сьогоднішній день застосування ЄБПП для ЕТЗ було обмежене через великі повітряні проміжки та високі вимоги до рівня потужності. Прототип стаціонарної системи заряджання потужністю більше 1 кВт був продемонстрований з ефективністю приблизно 83%, передача від джерела постійного струму до батареї відбувалася на частоті 540 кГц [7,8].

1.2.2 Індуктивна передача потужності

Традиційна ІПП була розроблена Нікола Тесла в 1914 році для бездротової передачі потужності. Основна схема традиційного ІПП представлена на рис.1.3.

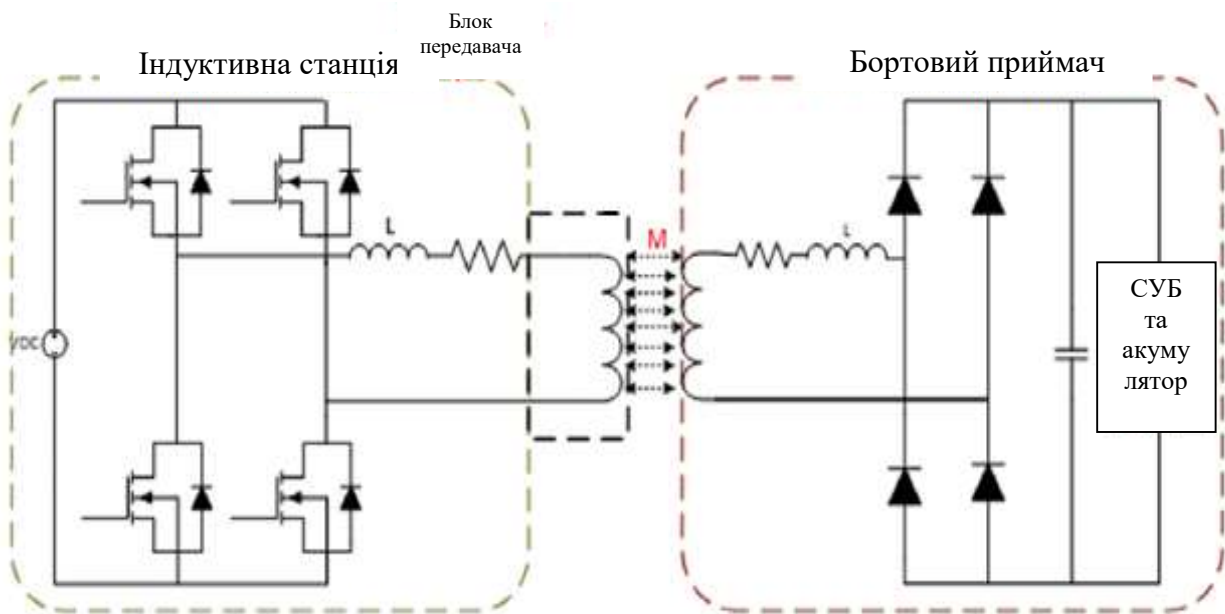


Рис. 1.3 Принципова схема традиційної індуктивної передачі енергії

ІПП була протестована і використана в різних областях, від міліват до кіловатів для передачі безконтактно потужності від джерела до приймача. У 1996 році компанія General Motors (GM) представила Chevrolet S10 EV, який був заряджений системою магнітної зарядки ІПП (J1773) для забезпечення швидких зарядів рівня 2 (6,6 кВт) і 3-го рівня (50 кВт). Первинна котушка, відома як зарядна була з'єднана з мережею, а вторинна котушка, вставлена в порт для зарядки транспортного засобу, отримувала потужність і дозволяла заряджати транспортний засіб (ТЗ) [9,10].

1.2.3 Резонансна індуктивна передача потужності

РІПП є однією з найвідоміших і найсучасніших версій традиційного ІПП з точки зору розробки силової електроніки та бездротових трансформаторних котушок. Рис. 1.4 показує принципову схему РІПП для ЕТЗ.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

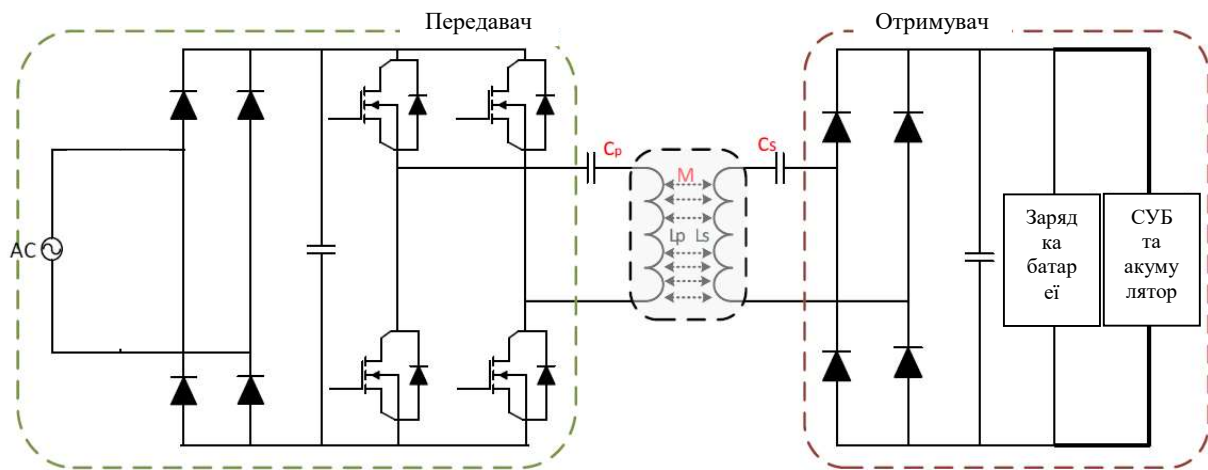


Рис. 1.4 Принципова схема резонансного індуктивного перенесення потужності

Основна напруга змінного струму перетворюється в високочастотне джерело змінного струму і подається на передавач або первинну обмотку. Приймач або вторинна обмотка отримує живлення через різні магнітні поля. Отримана потужність перетворюється в постійний струм для акумуляторної батареї за допомогою додаткової силової електроніки та схеми фільтрів.

$$f_r(p,s) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{p,s} \cdot C_{p,s}}} \quad , \quad (1.1)$$

де f_r - резонансна частота первинної і вторинної котушок, а L і C - значення самоіндукції і резонансних конденсаторів котушок передавача і приймача відповідно.

У порівнянні з традиційним ІПП, додаткові компенсаційні мережі в послідовній та / або паралельні конфігурації додаються як до первинної, так і до вторинної обмоток не тільки для створення резонансу, як представлено в (1.1), але також для зменшення додаткових втрат.

Коли резонансні частоти первинної та вторинної котушок узгоджуються, стає можливою ефективна передача потужності. Робоча частота РІПП коливається від десятків кілогерц до декількох сотень кілогерц. Магнітний потік, що генерується в цьому діапазоні частот, без будь-якого магнітопроводу, має суттєвий негативний вплив на взаємну індуктивність, а отже, зменшується коефіцієнт зв'язку (k):

$$k = \frac{L_m}{\sqrt{L_p \cdot L_s}}. \quad (1.2)$$

Значення коефіцієнта зв'язку в РППІ змінюється від 0,2 до 0,3 через мінімальну вимогу до висоти зазору, яка становить 150-300 мм [11]. Вираз (1.2) може бути застосований для розрахунку коефіцієнта зв'язку. L_p і L_s - це самоіндукція котушок передавача і приймача відповідно. L_m - взаємна індуктивність між двома котушками. Якщо первинна і вторинна котушки сильно зв'язані, то значення взаємної індуктивності буде вище, і навпаки.

Для поліпшення коефіцієнта зв'язку в конструкції бездротового трансформатора використовуються магнітні феритові сердечники. При високій частоті скін ефекти та ефект близькості значно збільшуються і можуть впливати на ефективність передачі енергії [12]. Щоб уникнути таких проблем, в конструкції зазвичай застосовують індивідуально ізольовані зкручені тонкостінні дроти. Це також може зменшити паразитний опір і поліпшити фактор якості (Q) котушки. Фактор якості можна обчислити, наступним чином:

$$Q = \frac{\omega \cdot L_{p,s}}{R_{p,s}} = \frac{2\pi f \cdot L_{p,s}}{R_{p,s}} \quad (1.3)$$

Вираз (1.3) визначає частоту (f) і самоіндукцію (L) первинної або вторинної котушки, R - опір котушок.

1.3 Статична бездротова система зарядки електричних транспортних засобів

БСЗ зручна для споживача, тим що забезпечується середовище, яке дозволяє користувачу уникнути контакту безпосередньо з зарядним пристроєм. Цим самим забезпечується високий рівень безпеки. Статична БСЗ може цілком замінити дротовий зарядний пристрій та застерегти ураженню електричним струмом. Рис. 1.5 показує бездротову систему зарядки електричних транспортних засобів.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

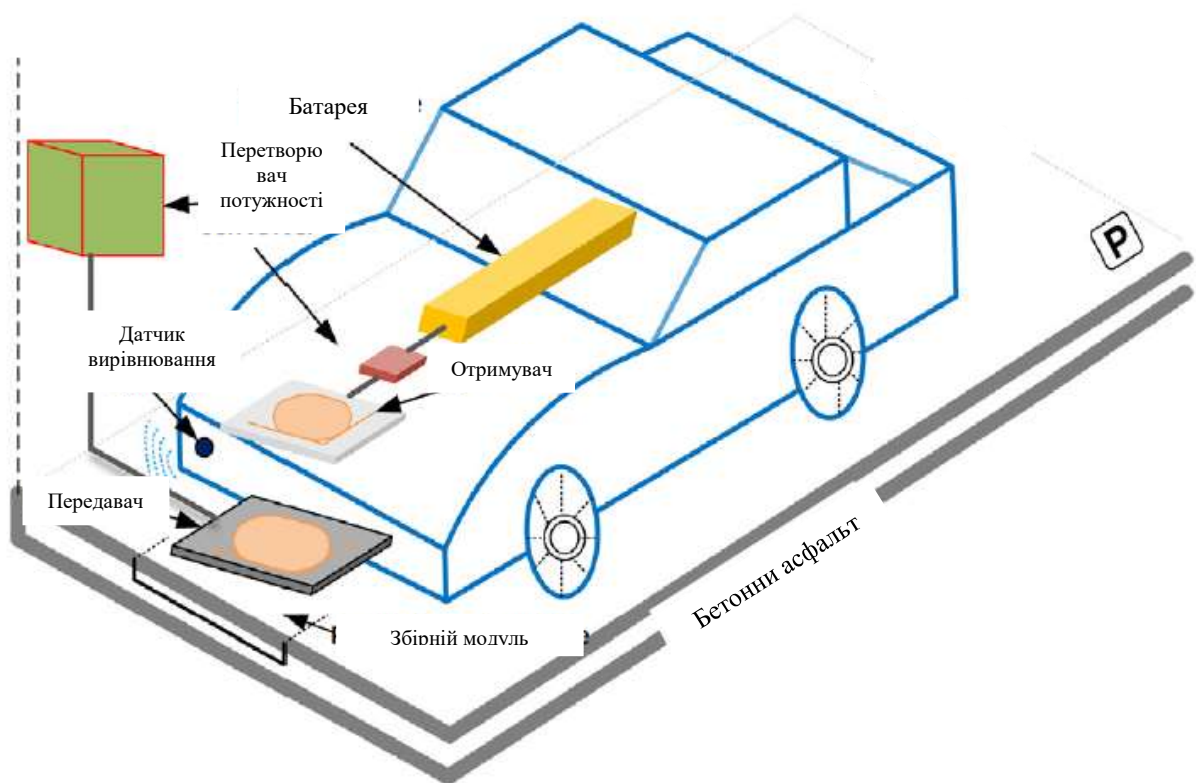


Рис.1.5 Статична бездротова система зарядки електричних транспортних засобів.

Первинна котушка встановлюється під дорожнім полотном. Котушка приймача, або вторинна котушка, зазвичай встановлюється під ТЗ спереду, ззаду або в центрі. Приймаюча енергія перетворюється з змінного струму в постійний струм за допомогою перетворювача потужності і передається до акумулятора. Щоб уникнути будь-яких проблем з безпекою, системи керування потужністю та системи управління акумуляторами оснащені мережею бездротового зв'язку для отримання зворотного зв'язку від первинної сторони. Час зарядки залежить від рівня потужності джерела, розмірів зарядних майданчиків і відстані між зазорами між двома обмотками. Середня відстань приблизно 150-300 мм. Статичні БСЗ можуть бути встановлені в місцях для паркування, автостоянках, будинках, комерційних будівлях, торгових центрах, а також у парку. Багато прототипів були розроблені університетами на науково-дослідних і комерційних рівнях, як представлено в табл. 1.1.

Їхні ціни коливаються від приблизно 27-13 тис. дол. США в залежності від рівня заряджання 3,3-7,2 кВт [13].

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.1

Розвиток в стаціонарних бездротових системах зарядки

Науково-дослідний інститут / Корпорація	Тип ТЗ	Розташування приймача	Повітряний Зазор (mm)	Робоча частота (kHz)	Діапазон потужності (kW)	Ефективність (%)
Plugless Power (Evatran Group) (2016-17)	Компанії та Стартіві галузі Легкові авто Спереду		102	20	3.3 3.6	90
WiTricity Corporation [(2009-17)	Легкові авто і SUV	Будь-яке	100-250	85	7.2 3.6 7.7 11	>90
Qualcomm Halo (2010-17)	Легкові, спортивні і гоночні авто	В центрі	160-220	85	3.6 6.6 7 20	>90
Hevo Power (2017-18) Bombardier Primove (2015-17)	Легкові авто Легкові авто і SUV	Будь-яке Будь-яке	Н/Д 10-30	Н/Д ТВА	10 3.6 7.2 22	90 >85
Momentum Dynamic Corporation (2015-17)	Електробуси Комерційні авто і автобуси	В центрі Спереду або ззаду	300	Н/Д	200 30	Т Н/Д
Conductix-Wampfler (2002-03)	Промислові авто	Будь-яке	Н/Д	20	до 20	Н/Д
Siemens and BMW Delphi (2011-17)	Легкові авто Легкові авто	Спереду Спереду	80-150 200	Н/Д Н/Д	3.6 3.3	>90 Н/Д
Wuhan University, China (2017) Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)	Наукові групи та університети Лаб. експеримент Н/Д Лаб. експеримент Н/Д		300 150	100 85	6-16 4	-81 93
Michigan State University (2016) KAIST University (2016) Oak Ridge National Lab (ORNL) (2013-17)	Лаб. експеримент Лаб. експеримент Лаб. Експеримент і реальний прототип	Н/Д Н/Д Ззаду	200 200 100-160	60 90 19.5	1 3.3 3.3 6.6	-82 95.96 -89-90
University of Michigan-Dearborn (2014)	Лаб. експеримент	Н/Д	125-175 200	22 Н/Д	10 20 8	90 95.7
University of Auckland (1997-17)	Авто	Н/Д	100-300	10-40	2-5	>85
The University of Georgia (2014-17)	Лаб. прототип	Н/Д	160	20	3	>80
Energy Dynamics Laboratory (EDL) and Utah State University (2012)	Лаб. експеримент	Н/Д	152-167	20	5	>90
KAIST University (2010-14)	Авто і SUV	В центрі	10 120-200	20	3 15	72-80 74-83

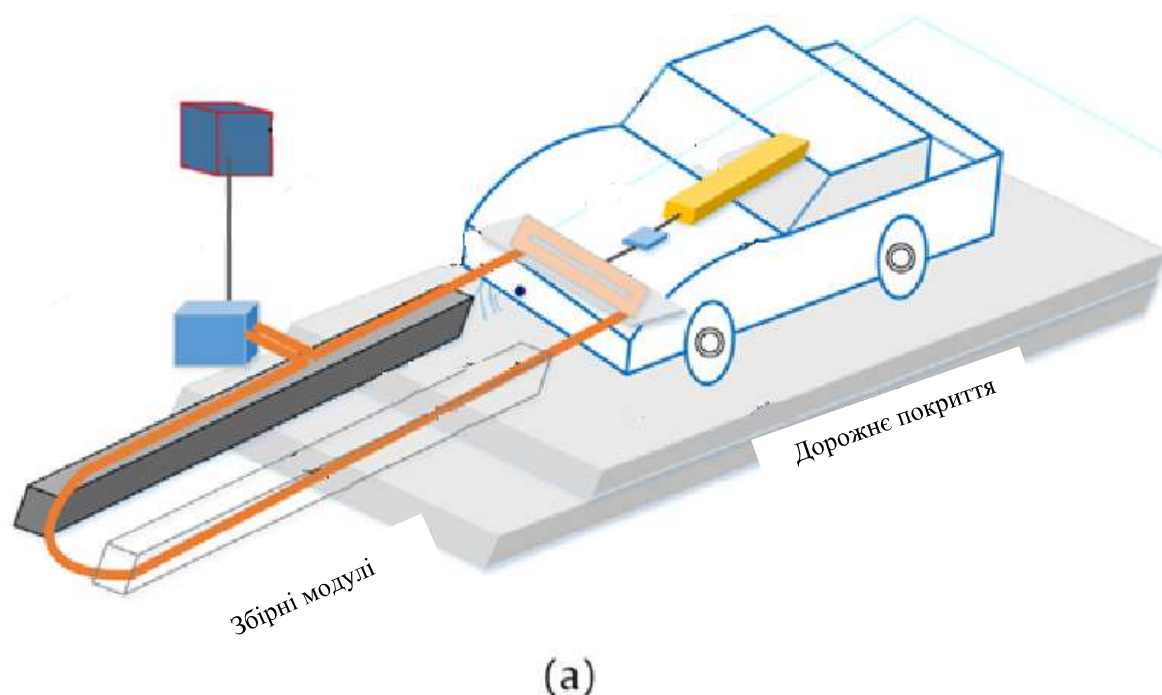
Рівень їх потужності відповідає оголошеним міжнародним стандартам SAE (J2954) класу потужності для рівнів 1 (3,3 кВт) і 2 (7,7 кВт), включаючи частотні діапазони 81,9-90 кГц . В даний час організація SAE працює над стандартами, які пов'язані з допустимими відхиленнями та місцем встановлення приймача в автомобілі. Ряд прототипів були представлені з різними місцями монтажу приймача під ТЗ, такими як спереду, ззаду та в

центрі. Національна лабораторія Oak Ridge зосереджується в основному на підвищенні ефективності передачі енергії шляхом проектування котушок, тоді як університет Окленда запропонував деякі апаратні та програмні засоби (включаючи розробку зарядних платформ) для поліпшення ефективності. В цілому, були розроблені прототипи та лабораторні експерименти стаціонарних БСЗ для ЕТЗ з діапазоном потужностей 1-20 кВт, з відстанню повітряного зазору 100-300 мм та ККД від 71 до 95%.

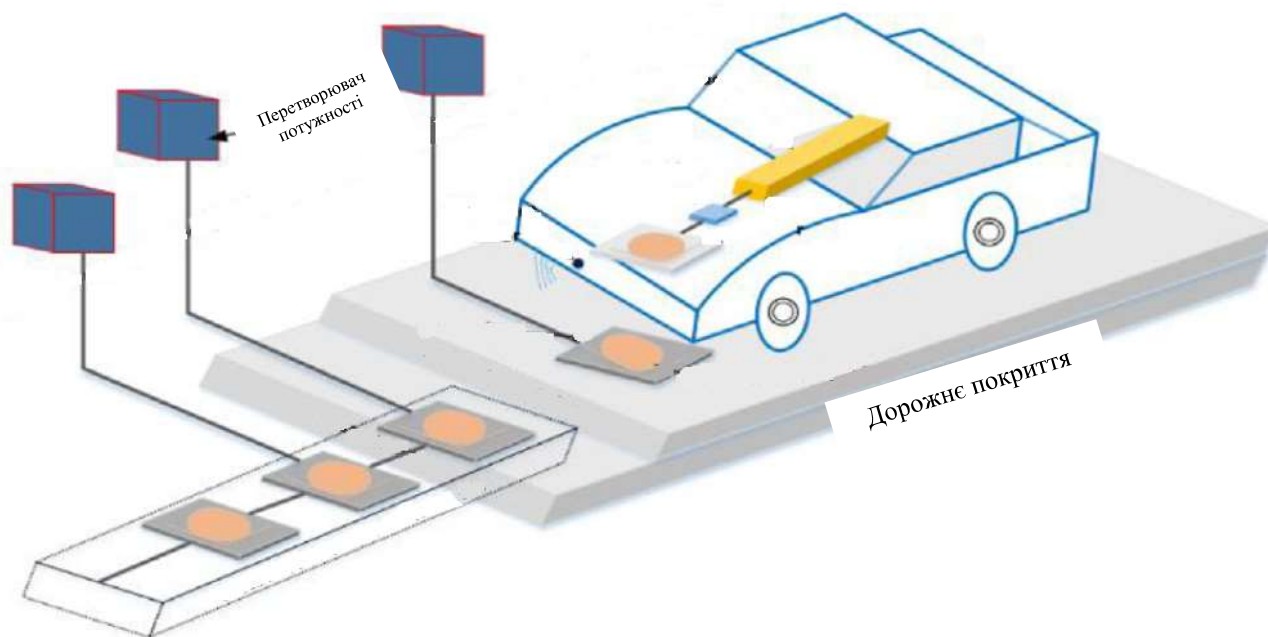
1.4. Динамічна бездротова система зарядки електричних транспортних засобів

Для того, щоб збільшити дальність, ТЗ повинні заряджатися або досить часто, або встановивши більшу батарею. Це призводить до додаткових проблем таких як велика вартість та додаткова вага. Крім того, не економічно заряджати автомобіль часто. Динамічна БСЗ є перспективною технологією, яка може зменшити проблеми, пов'язані з відстанню пересування і вартістю ТЗ.

Як показано на рис. 1.6, первинні котушки вбудовуються в дорожнє полотно на певній відстані.



					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



(б)

Рис. 1.6 Динамічна бездротова система зарядки електричних ТЗ: а – централізована схема; б – сегментована схема.

Як і в статичній БСЗ, вторинна котушка монтується під транспортними засобом. Коли ЕТЗ проходять через передавач, він отримує магнітне поле через котушку приймача і перетворює його в постійний струм, щоб зарядити акумуляторну батарею, використовуючи перетворювач. Часта зарядка ЕТЗ зменшує загальну ємність в акумулятора приблизно на 20% у порівнянні з звичайними ЕТЗ. Для динамічних БСЗ, накладки передавача і сегменти живлення повинні бути встановлені на певних місцях і заздалегідь визначених маршрутах. Сегменти електроживлення в основному поділяються на централізовані та сегментовані схеми, як показано на рис. 1.6 (а) і (б). У централізованій схемі електроживлення на дорожній поверхні встановлюється велика котушка (близько 5-10 м). У порівнянні з сегментованою схемою, централізована схема має більші втрати, меншу ефективність, включаючи дорогу установку, і більш високі витрати на технічне обслуговування. Загалом, встановлення початкової інфраструктури для цієї технології було б дорогим. Динамічна БСЗ може бути легко застосована для багатьох пристосувань, а саме

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

перевезень, наприклад у легких ТЗ, автобусах, залізничному транспорті [14]. У табл. 1.2 було продемонстровано підсумок розвитку динамічних БСЗ.

Таблиця 1.2

Підсумок досліджень і розробок динамічних БСЗ

Дослідження	Потужність (кВт)	Робоча частота (кГц)	Повітряний зазор (мм)	Ефективність (%)
Oak Ridge National Laboratory (ORNL)	20	22-23	125-175	90
University of Auckland, New Zealand	20-30	12.9	500	85
Japan Railway Technical Research Institute	50	10	7.5	НД
KAIST University, Korea	3	20	10	72-80
	6		170	71
	15		120-200	74-83
	25-100		200	85
Flanders Drive with industries and universities	80	20	100	88-90
EV System Lab & Nissan Research Centre	1	90	100	>90
North Carolina State University, USA	0.3	100	170	77-90

1.5 Аналіз видів передачі енергії

У табл. 1.3 представлені доступні технології бездротового перенесення енергії для електричних транспортних засобів, що працюють від батареї.

В останній час топологія Sepic (single-ended primary inductor converter) перетворювача часто використовується у пристроях з живленням від батареї, де в залежності від заряду батареї треба то знижувати, то підвищувати вхідну напругу [16]. У випадках коли необхідна корекція коефіцієнта потужності, а також де необхідна напруга в ланцюзі постійного струму широкого діапазону, підвищуючі топології, більше не є найбільш прийнятними топологіями схем для універсальних мереж.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Огляд різних методів бездротової передачі енергії (БПЕ) для ЕТЗ

Методи БПЕ	Продуктивність Ефективність	ЕМІ	Діапазон частот (kHz)	Ціна	Розмір	Складність розробки	Рівень потужності	Придатність для БСЗ
Індуктивна	Середня/Висока	Середня	10-50	Середня/Висока	Середній	Середня	Середній/Високий	Висока
Ємнісна	Низька/Середня	Середня	100-600	Низька	Низький	Середня	Низький	Низька/Середня
Резонансно-індуктивна	Середня/Висока	Низька	10-150	Середня/Висока	Середній	Середня	Середній/низький	Висока

У даній роботі досліджується перетворювач *Seris* – це перетворювач постійного струму, вихідна напруга якого може бути більшою, меншою або дорівнювати вхідній напрузі, в залежності від коефіцієнта заповнення. Він здатний забезпечити напругу в широкому діапазоні постійного струму. *Seris* перетворювач може забезпечити роботу без зміни полярності. Для зменшення розмірів фільтра та підвищення ефективності використовується технологія чергування. Ця технологія заключається в тому, що ми паралельно з'єднуємо n комірок *Seris* і штучно зсуваємо фазу сигналів затвору на $2\pi/n$, деякі пульсації можуть бути повністю усунені через фазовий зсув, а струм вихідного конденсатора зменшується. Наслідком цього може бути зменшений розмір вихідного конденсатора та фільтра.

Interleaved (модульний) перетворювач (рис.1.8) [17] здатний обробляти більшу потужність зі зменшеними пульсаціями та спотвореннями гармонік. Фаза сигналів, які надходять на затвор транзистора можуть бути штучно зміщеними, що сприятиме зменшенню гармонік ланцюга, а також пульсацій струму.

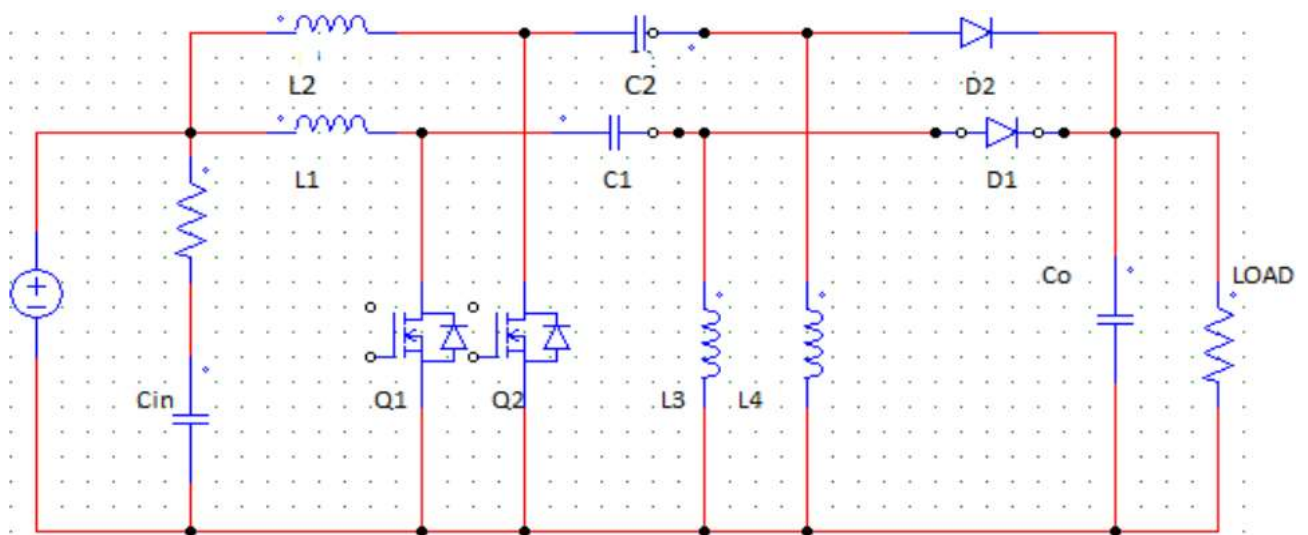


Рис.1.8 Interleaved Sepic

Режими роботи

Режим 1

У режимі 1 перемикач S1 вимкнено, а S2 увімкнено (рис.1.9). Конденсатори C1 і C2 заряджаються на вхідну напругу. Індуктивність L3 буде заряджатися, а конденсатор C2 буде розряджатися через S2 і L4. Це робить діод D2 зворотно зміщеним. Оскільки S1 вимкнений, D1 буде зміщений у прямому напрямку, а індуктивності L1 і L2 будуть розряджатися через навантаження.

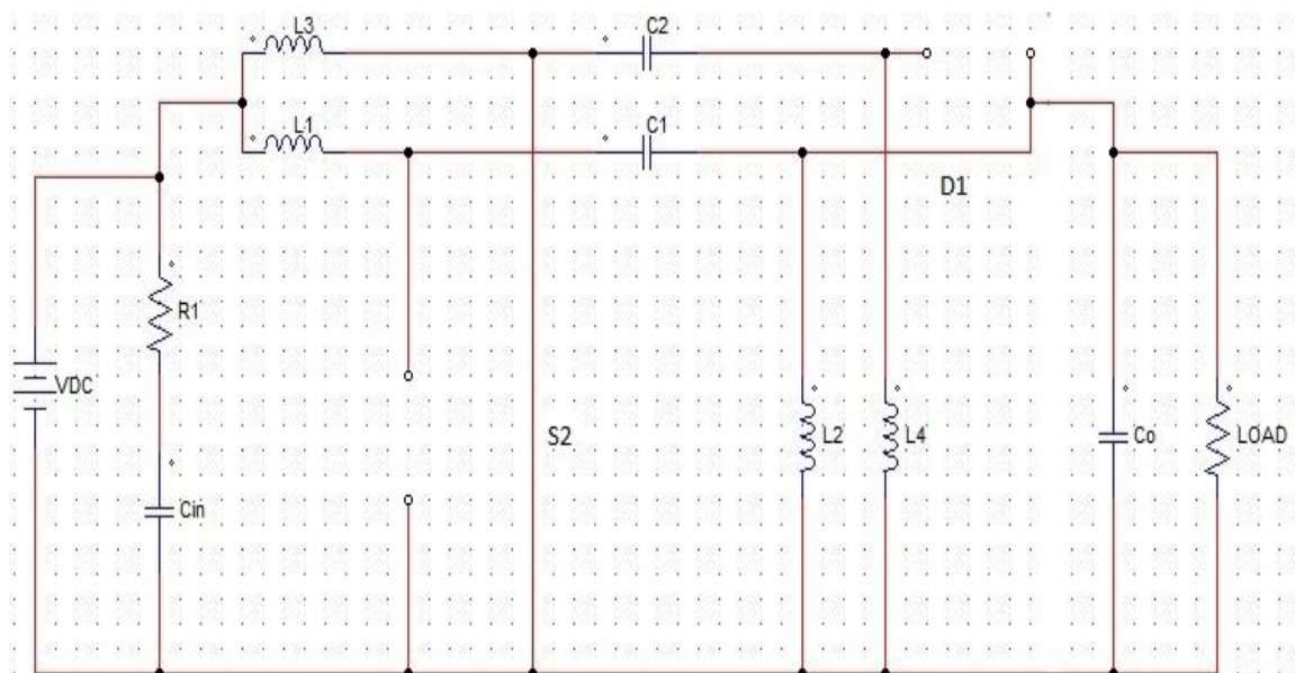


Рис.1.9 Перший режим роботи

Режим 2

У цьому режимі обидва перемикача включаються, отже всі індуктори будуть заряджатися (рис.1.10).

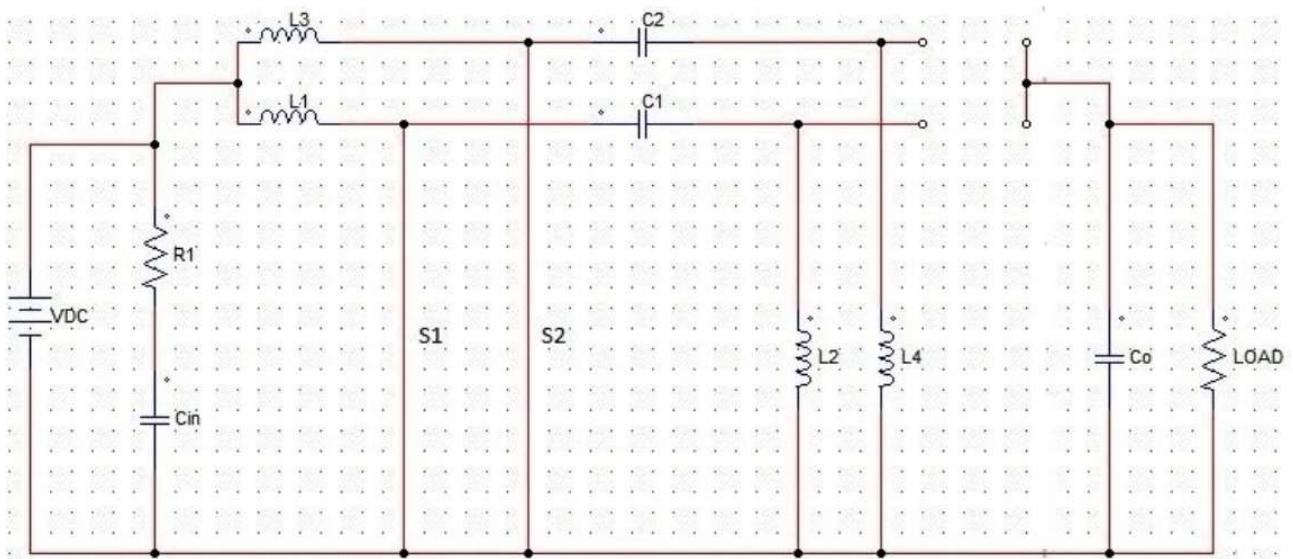


Рис.1.10 Другий режим роботи

Режим 3

S1 увімкнено, а S2 вимкнено. Таким чином, струми в L1 і L2 будуть збільшуватися, а значення накопичена енергія в L3 і L4 буде зменшуватися (рис.1.11).

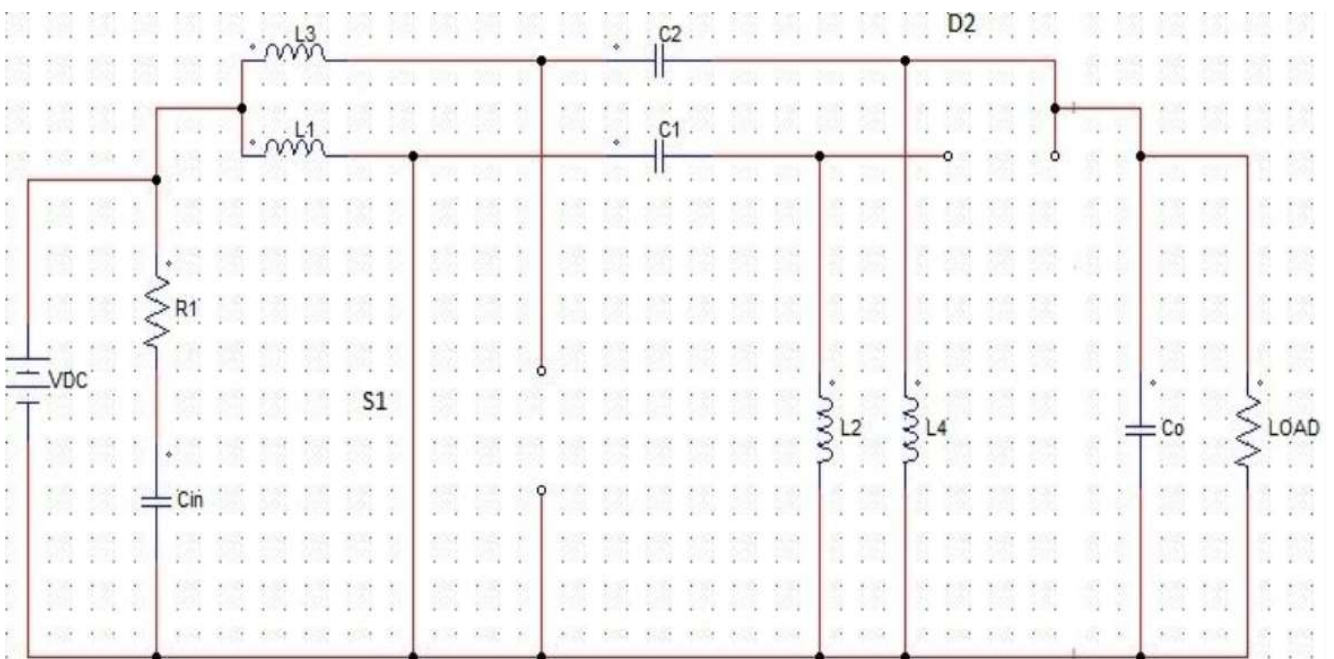


Рис.1.11 Третій режим роботи

Режим 4

У цьому режимі обидва вимикачі вимикаються. Тому всі індуктори будуть розряджатися (1.12).

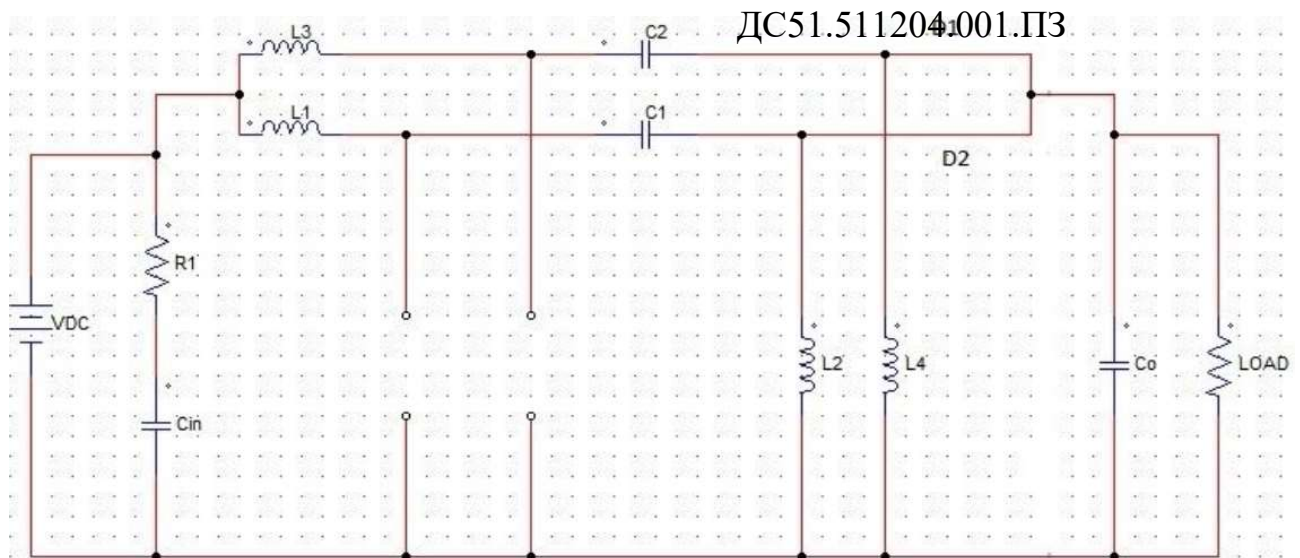


Рис.1.12 Четвертий режим роботи

Такий перетворювач може працювати в двох режимах: підвищуючому та понижуючому. Для роботи схеми в режимі підвищення час заряджання дроселя більше ніж час його заряджання, в понижуючому ж режимі все навпаки. Часові діаграми струмів, які протікають в елементах схеми для обох режимів зображені на рис.1.13 і рис.1.14 відповідно [17].

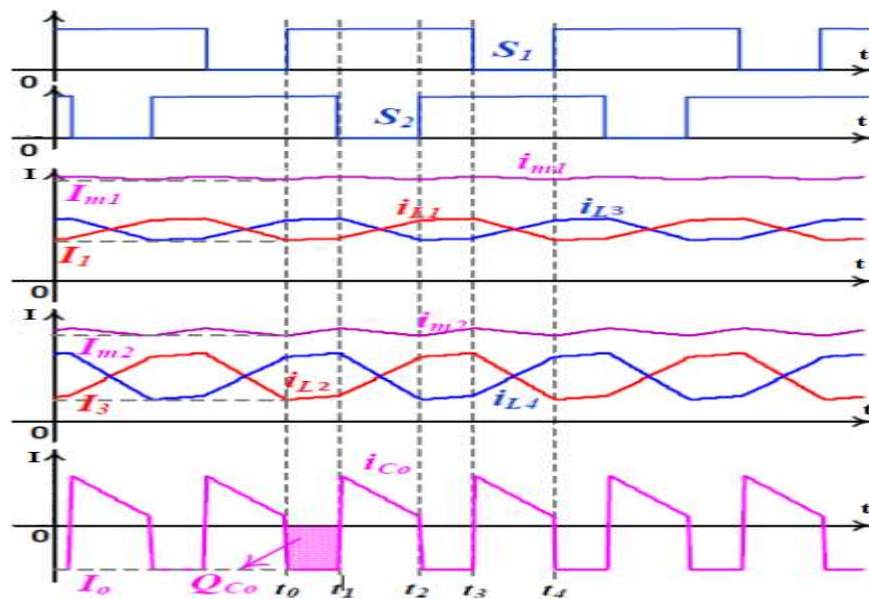


Рис.1.13 Підвищуючий режим

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

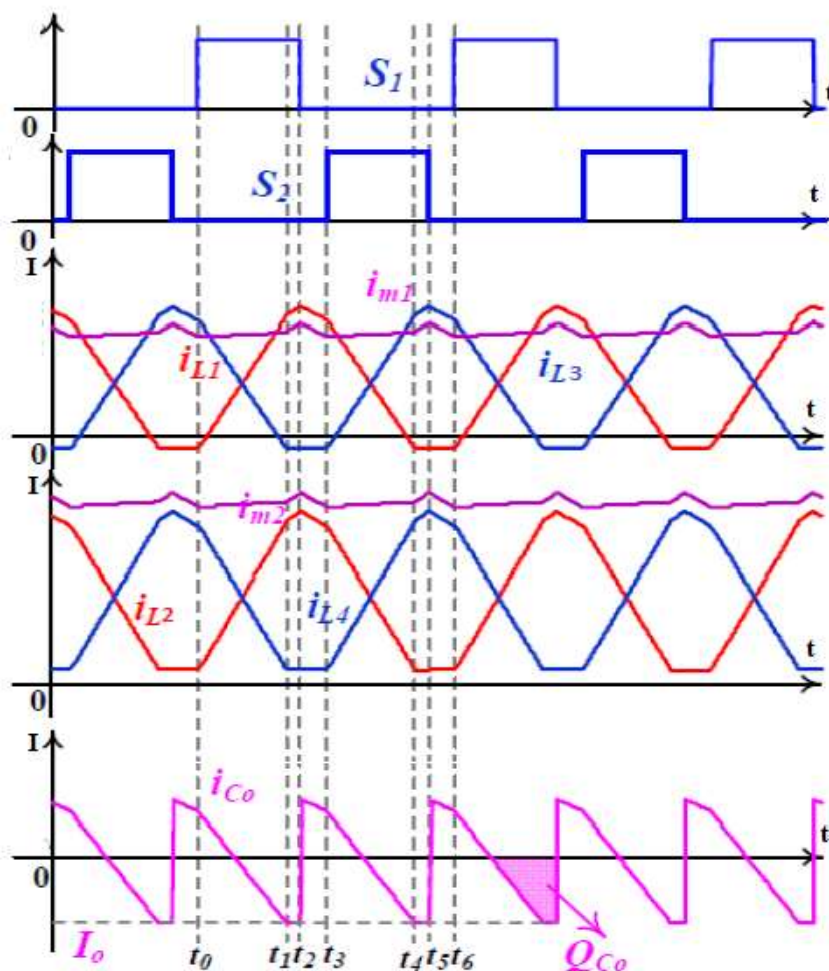


Рис.1.14 Понижуючий режим

Отже, Interleaved Sepic перетворювач є найкращим вибором для використання у бездротових системах зарядки. Він найкраще підходить для вирішення задач в яких необхідно передавати велику кількість потужності. На виході зберігається полярність вхідної напруги, здійснюється м'яка комутація транзисторів, зменшуються динамічні втрати.

Задача, яка ставиться в цій роботі – це використання в топології Interleaved Sepic перетворювача бездротового трансформатора, за допомогою якого буде здійснюватися передача енергії.

Головною метою даної роботи є розробка системи бездротового заряджання та розрахунок ємності батареї. Тому для визначення ємності акумуляторної батареї необхідно розрахувати енергію, яка витрачається ТЗ на рух, а також треба розрахувати сили, що діють на ТЗ під час руху.

Силова частина зарядного пристрою буде складатися з шести Sepic перетворювачів по два на кожну фазу. Структурна схема зображена на рис.1.15.

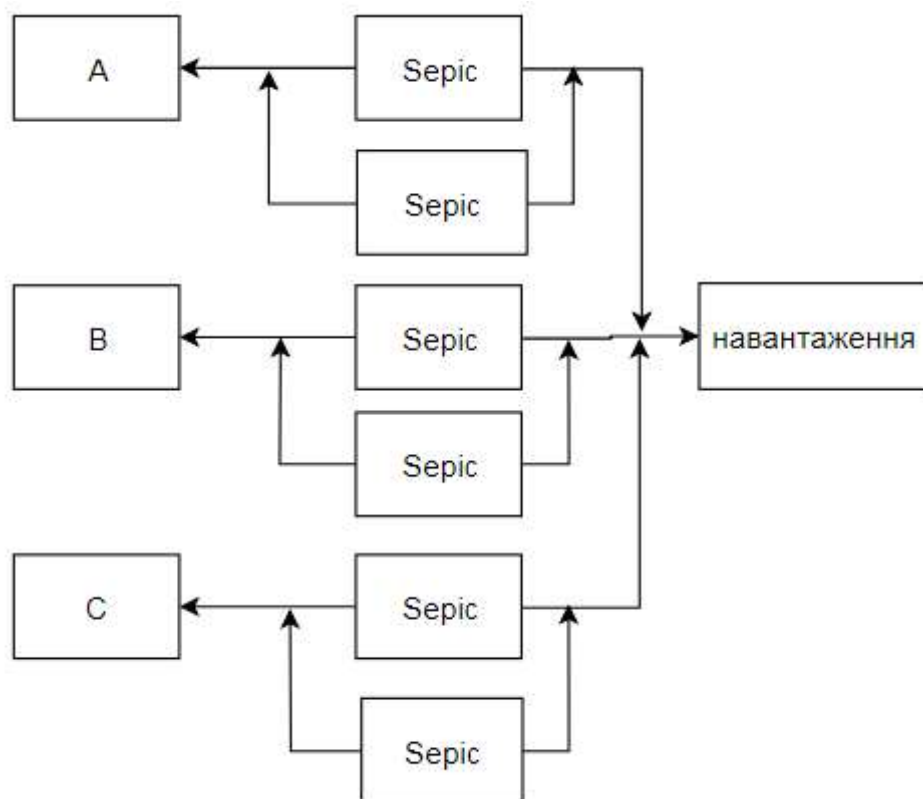


Рис. 1.15 Структурна схема зарядного пристрою

Ідея впровадження бездротової зарядки є досить новою і масштабне її впровадження сфері транспорту стане найбільшим проривом в передачі енергії. Подібно до того як бездротовий зв'язок замінив наш провідний спосіб спілкування.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОБУСА

2.1 Схема електрична структурна

На рис. 2.1 зображена схема електрична структурна електробусу. Основною відмінністю даної системи від загально прийнятих систем ЕТЗ є те, що замість акумулятора будуть використовуватися суперконденсатори [18].

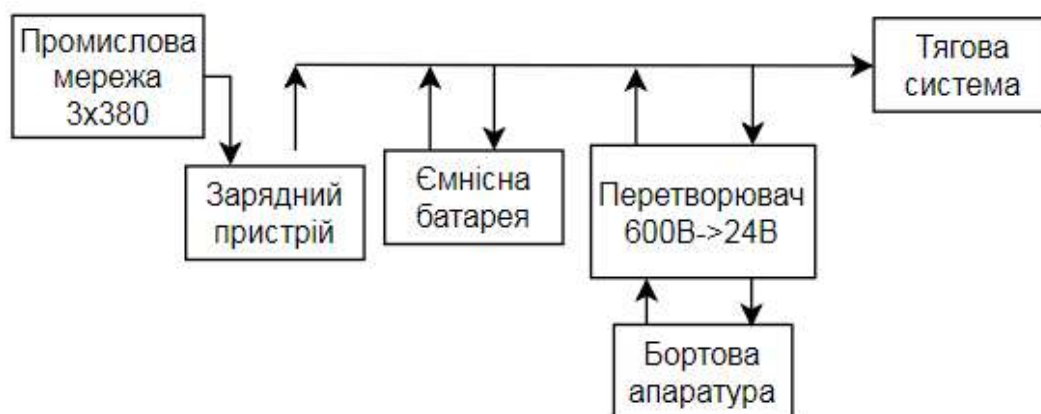


Рис.2.1 Структурна схема електробусу

Великі максимальні струми розрядки/зарядки, менша вага, габарити та вартість в порівнянні зі звичайними акумуляторами, а також досить велика кількість розрядів є основними перевагами такого виду акумулятора. Час заряджання в середньому складає до 10 с. Суперконденсатор не можливо зарядити понад його ємність, внаслідок чого не потрібна система, яка буде слідкувати за ступенем зарядки, струм просто перестане протікати в нього.

2.2 Схема електрична принципова

На рис.2.2 зображено принципову схему зарядного пристрою. Вона складається з шести однакових Serіс перетворювачів, по два, які з'єднані паралельно, на кожну фазу. Це дає змогу розвантажити елементи схеми та передавати більшу потужність.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

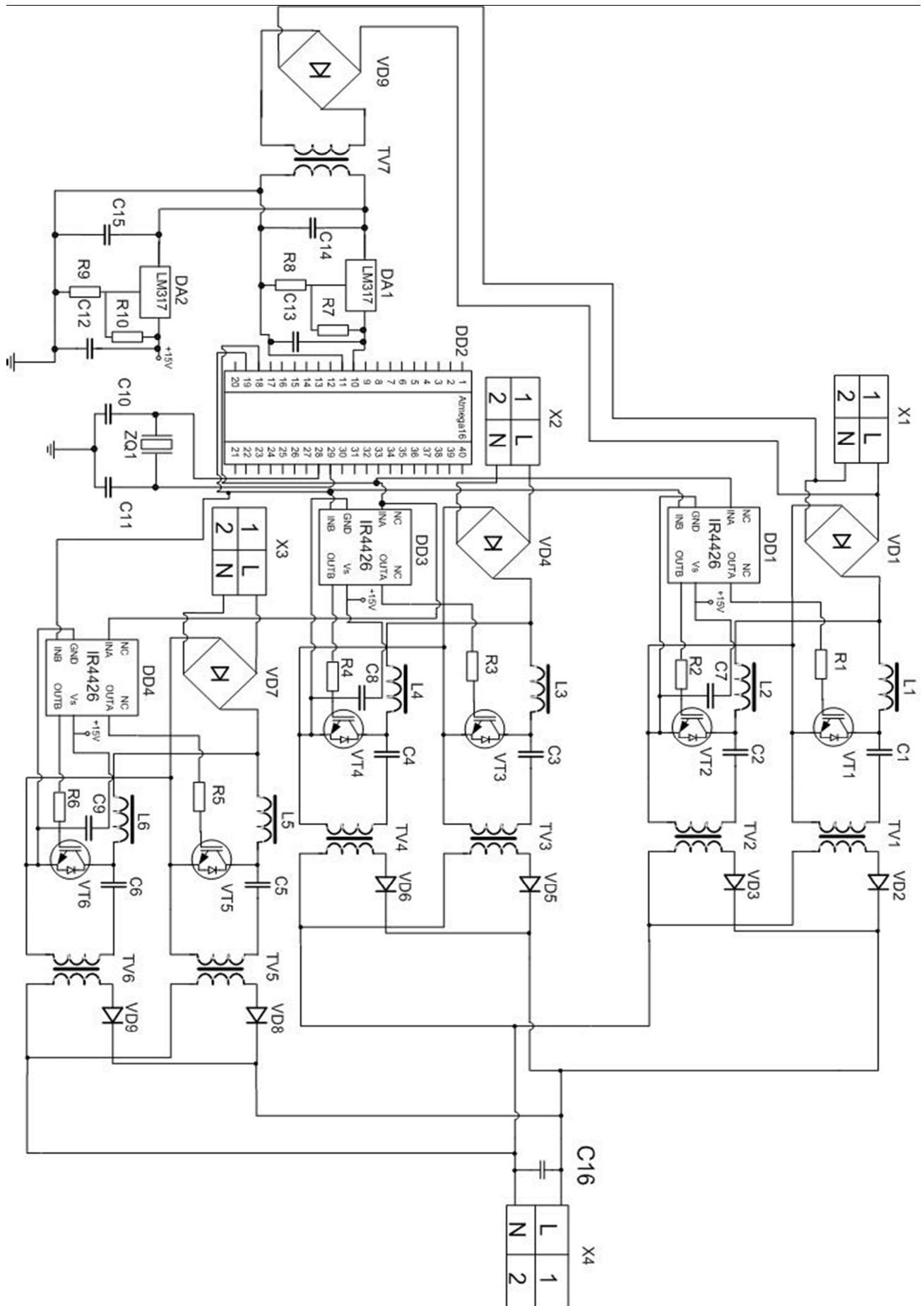


Рис. 2.2 Принципова схема силової частини зарядного пристрою

Розглянемо роботу схеми на прикладі однієї фази в перший момент часу, коли силовий ключ закритий за рахунок ЕРС самоіндукції енергія буде накопичуватися в котушці L_1 і L_2 , а конденсатор C_1 і C_2 будуть розряджатися через ключ $VT1$, це робить діоди $VD2$ і $VD3$ зворотно зміщеними. При закриванні ключа напруга, яка прикладається до трансформатора буде сумою напруги від джерела і напруги на індуктивностях. В свою чергу трансформатор передає напругу до вторинної обмотки, яка буде підключена до навантаження. Конденсатор C необхідний для того, щоб трансформатор не заходив у насичення.

Система керування транзисторами виконана на основі мікроконтролера ATmega8 та драйвера IR442х. Задача, яка ставиться перед мікроконтролером в цій схемі це генерація ШІМ. Імпульси з мікроконтролера надходять на драйвер, що в свою чергу керує відпирання та запиранням силового ключа. Драйвер виконує заряджання затвору або його розряджає до значення запираючої напруги [19]. Також до мікроконтролера підключається зовнішній резонатор. Він використовується в якості джерела гармонічних коливань, щоб мікроконтролер міг опиратися на еталонну частоту і оперувати нею в подальшій роботі.

2.3. Перетворювач для живлення системи керування

Для живлення системи керування буде використовуватися понижуючий перетворювач (рис.2.3). Параметри перетворювача наступні:

- вхідна напруга перетворювача $U_{in}=15$ В;
- вихідна напруга перетворювача $U_{out}=5$ В;
- максимальний вихідний струм $I_{out}=3.6$ мА;
- частота комутації $f=50$ кГц.

Вхідна напруга спочатку випрямляється, а потім перетворюється в 15 В за допомогою трансформатора. Мікросхема використовується в якості стабілізатора напруги. На виході перетворювача буде напруга порядку 5 В.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

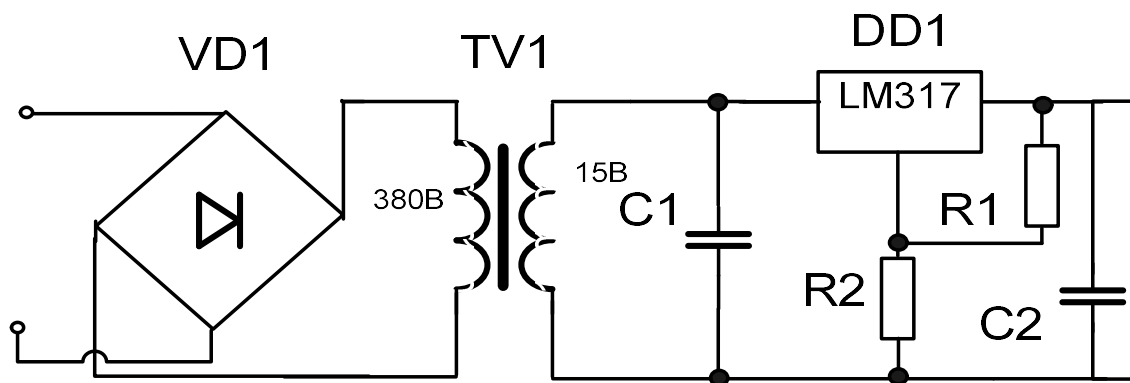


Рис.2.3 Схема понижуючого претворювача

Розрахунок конденсатора C_1

Ємність вхідного конденсатора визначаються величиною пульсацій струму через нього, яка розраховується за наступною формулою [20]:

$$I_{C_1} = I_{out} \frac{\sqrt{V_{out}(V_{in} - V_{out})}}{V_{in}} = 3.6 \text{ мА}. \quad (2.1)$$

Для вибору вхідного конденсатора необхідно враховувати імпеданс джерела. Для використання такого перетворювача достатньо встановити вхідний конденсатор ємністю 10-22 мкФ в розрахунку на 1 А. Розрахована вхідна ємність складає $C_1 = 0.1 \text{ мкФ}$.

Розрахунок конденсатора C_2

Скористаємося даташитом до мікросхеми LM317 і визначимо ємність:

$$C_2 = 1 \text{ мкФ}.$$

Розрахунок резисторів

Значення опору резистора R_1 може лежати в межах від 100 до 1000 Ом, але рекомендоване значення 240 Ом, тому резистор $R_1 = 240 \text{ Ом}$.

Тепер, знаючи опір резистора R_1 , можемо знайти значення опору R_2 за наступною формулою [34]:

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{вих}}{1.25} - 1 \right) = 720 \text{ Ом.} \quad (2.2)$$

Перетворювач для живлення драйвера

Розрахунок такого ж перетворювача для живлення драйвера. Цей перетворювач також буде під'єднаний до того ж трансформатора, що і перетворювач для живлення системи керування.

Параметри перетворювача наступні:

- вхідна напруга перетворювача $U_{in}=15 \text{ В}$;
- вихідна напруга перетворювача $U_{out}=15 \text{ В}$;
- максимальний вихідний струм $I_{out}=1.5 \text{ А}$;
- частота комутації $f=50 \text{ кГц}$.

Струм який буде протікати через конденсатор C_1 : $I_{C1}=1.5 \text{ А}$.

Розрахована ємність буде складати $C_1=33 \text{ мкФ}$.

Використовуючи даташит, ємність конденсатора $C_2=1 \text{ мкФ}$.

Номінали резисторів будуть складати $R_1=240 \text{ Ом}$ і відповідно до (2.2) $R_2=2640 \text{ Ом}$.

2.4 Розрахунок енергетичних показників руху транспортного засобу

2.4.1 Розрахунок сил опору, які діють на транспортний засіб

Перед нами постає питання розрахунку системи акумулювання енергії для міського транспортного засобу (ТЗ). Для цього необхідно розрахувати енергію, яка витрачається на рух ТЗ і визначити значення потужності, яке буде відбиратися від системи акумулювання між зупинками. Оскільки батарея ТЗ буде підзаряджатися на кожній зупинці, то розраховуємо ємність акумулятора тільки для руху між зупинками, а не на весь маршрут.

Для того, щоб ТЗ мав змогу рухатися потрібно розрахувати сили, які діють на нього, а саме: сила опору повітря, сила опору розгону, сила опору підйому, сила опору кочення та сила інерції.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Сила опору повітря

Всі складові опору повітря важко визначити в аналітичному вигляді. Тому на практиці знайшла застосування емпірична формула [21], яка має діапазон швидкостей руху для реального ТЗ, має наступний вигляд:

$$F_{\text{е}} = 0,5 c_x A \rho_{\text{в}} V^2, \quad (2.3)$$

де c_x - безрозмірний коефіцієнт обтікання повітрям, який залежить від форми тіла, $\rho_{\text{в}}$ – густина повітря, $\rho_{\text{в}} = 1,202 \dots 1,225 \text{ кг/м}^3$, A – площа Міделева січення (площа поперечної проекції) автомобіля м^2 , V – швидкість автомобіля, м/с .

Сила опору розгону

При розгоні автомобіля відбувається поступальний рух маси авто і розгон обертаючих мас, збільшується опір розгону. Це збільшення можна врахувати в розрахунках, якщо вважати, що маси автомобіля рухаються поступально, але використовують деяку еквівалентну масу $m_{\text{е}}$, трішки більшою, ніж $m_{\text{а}}$ (в класичній механіці це виражається рівнянням Кеніга)

Використовуємо метод Н. Е. Жуковского, прирівнюючи кінетичну енергію автомобіля, що рухається поступально, в еквівалентній масі сумі енергій:

$$\frac{m_{\text{е}} V^2}{2} = \frac{m_{\text{а}} V^2}{2} + \frac{J_{\text{д}} \omega_{\text{д}}^2}{2} + \frac{J_{\text{к}} \omega_{\text{к}}^2}{2}, \quad (2.4)$$

де $J_{\text{д}}$ – момент інерції маховика двигуна і зв'язаних з ним деталей, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}$ ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$); $\omega_{\text{д}}$ – кутова швидкість двигуна, рад/с ; $J_{\text{к}}$ - момент інерції одного колеса.

Сила опору підйому

Сила опору підйому визначається за формулою

$$F_n = G_{\text{а}} \sin \alpha, \quad (2.5)$$

де $G_{\text{а}}$ – маса ТЗ; $\sin \alpha$ - кут нахилу дорожнього полотна.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На дорожній практиці величину нахилу зазвичай оцінюють величиною підйому полотна дороги, яка відноситься до величини горизонтальної проекції дороги і позначають i , висловлюючи отримане значення в процентах.

При відносно невеликій величині нахилу допустимої в розрахункових формулах при визначенні сили опору підйому використовують не $\sin \alpha$, а величину i у відносних значеннях. При великих значеннях величини нахилу заміна $\sin \alpha$ величиною i неприпустима.

Сила опору кочення

Опір коченню залежить від маси автомобіля і коефіцієнта тертя кочення. Маса автомобіля при цьому надає першорядний вплив на величину опору коченню. Велика маса проявляється несприятливо в будь-якому випадку, якщо ми прагнемо до економії енергії, то зменшення маси автомобіля є однією з головних задач [22].

Маса проявляється у вигляді сили, що притискує автомобіль до землі. Пересуванню перешкоджає сила, яка залежить від коефіцієнта тертя кочення між автомобілем і поверхнею дороги. Тут є можливість економити певну енергію. Сила опору коченню автомобіля розраховується за формулою:

$$F_k = G_a \cdot f, \quad (2.6)$$

де G_a – маса ТЗ; f - коефіцієнт тертя кочення.

Сила опору інерції

Однією з сил, що впливає на рух автомобіля, є сила опору розгону, тобто сила інерції - F_i

$$F_i = m_e \cdot a. \quad (2.7)$$

Інерція - природна властивість оточуючих нас тіл перешкоджати будь-якій причині, яка прагне повідомити їм рух або змінити стан руху [23].

Сила інерції з'являється завжди, коли змінюється швидкість руху автомобіля. Її величина тим більше, чим більше загальна маса автомобіля. Діє

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

ця сила на все його частини, а також на вантаж і пасажирів. Змінюється в процесі руху автомобіля. Збільшується швидкість руху, збільшується і сила інерції, перешкоджаючи збільшенню швидкості, тобто стає силою опору. Для подолання її витрачається частина тягової сили. Отже, щоб максимально використовувати тягову силу автомобіля, особливо при подоланні довгих важкопрохідних ділянок дороги, необхідно рухатися з рівномірною швидкістю.

Сумарна сила

Сумарна сила або сила тяги, це та сила, яку повинен розвивати ТЗ для подолання сил опору [21].

$$F_T = F_K + F_{\Pi} + F_B + F_i, \quad (2.8)$$

де F_K , F_{Π} , F_B , F_i – сила опору коченню коліс, підйому, повітря, інерції відповідно.

2.4.2 Розрахунок сил опору

Міський електробус має такі основні параметри: висота – 2,5 м, ширина – 2,7 м, маса – 11000 кг, радіус шини колеса – 0,372 м, максимальна швидкість – 60 км/год, відстань між зупинками 1 км. Динамічні характеристики проектного електробуса повинні бути не гірше за аналогічні характеристики міського автобуса. Отже для аналізу руху автобуса обираємо найпростішу тахограму (рис. 2.4), яка відповідає стандартній циклограмі руху міського автобуса.

Опір кочення залежить від маси автомобіля і коефіцієнта кочення:

$$F_K = G_a \cdot f = 11 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,01 = 1079,1 \text{ Н}. \quad (2.9)$$

Сила опору підйому:

$$F_{\Pi} = G_a \cdot \sin(\alpha_{\max}) = 11 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,3 = 32373 \text{ Н}. \quad (2.10)$$

Сила опору повітря:

$$F_B = 0,5 c_x A \rho_{\text{в}} V^2 = 0,5 \cdot 0,76 \cdot 751,202 \cdot V^2 = 2,847 \cdot V^2. \quad (2.11)$$

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

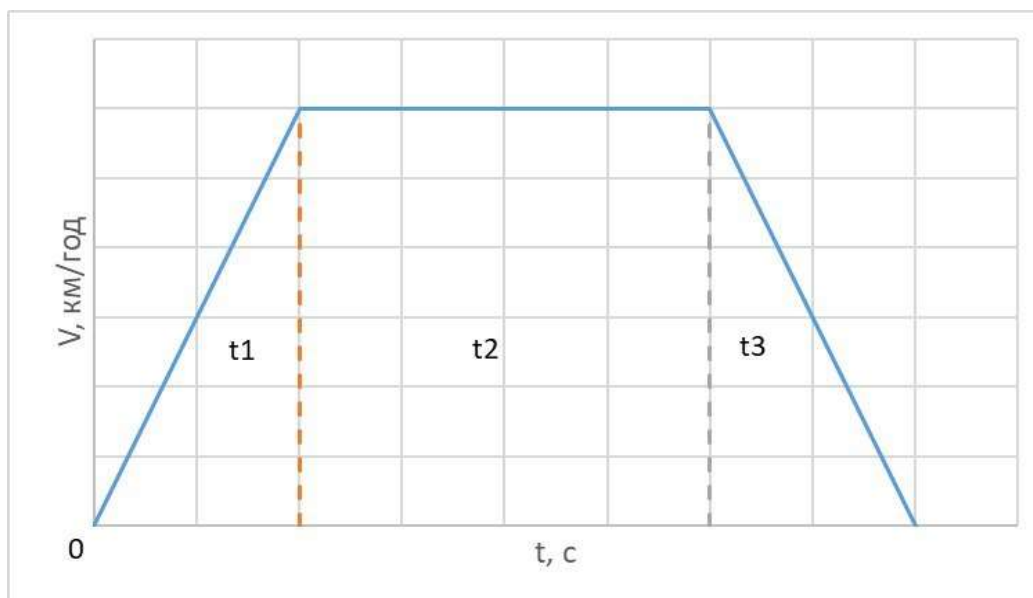


Рис. 2.4 Тахограма руху електробусу: t1 - інтервал розгону; t2 - інтервал постійної швидкості; t3 - інтервал гальмування

Ефективна маса

Для визначення ефективної маси необхідно знайти кількість обертів колеса за хвилину, а також кутову швидкість.

Параметри колеса : R22.5, D=960 мм, m=19,8 кг.

Кількість обертів $N_{(k)max}$ колеса за хвилину для максимальної швидкості $V_{max} = 60$ км/год:

$$N_{(k)max} = \frac{v_{max} \cdot 100}{6\pi D} = \frac{60 \cdot 100}{6 \cdot \pi \cdot 0,96} = 331,57 \text{ об / хв.} \quad (2.12)$$

$$\omega_k = 2\pi N = 2083,32 \text{ рад / хв} = 34,72 \text{ рад / с.} \quad (2.13)$$

$$\omega_{\partial} = 10 \cdot \omega_k \quad (2.14)$$

$$\frac{m_e V^2}{2} = \frac{m_a V^2}{2} + \frac{J_{\partial} \omega_{\partial}^2}{2} + \frac{J_k \omega_k^2}{2} \Rightarrow m_e = \frac{m_a V^2 + J_{\partial} \omega_{\partial}^2 + J_k \omega_k^2}{V^2} \Rightarrow \quad (2.15)$$

$$m_e = m_a + \frac{J_{\partial} \omega_{\partial}^2 + J_k \omega_k^2}{(0.5 \omega_k \cdot D)^2} = 11000 + 1602.1 = 12602.1 \text{ кг.}$$

Сила інерції:

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$F_i = m_e \cdot a = 12602.1 \cdot a. \quad (2.16)$$

Сила тяги визначається як сума всіх сил, які діють на ТЗ:

$$F_T = F_K + F_{\Pi} + F_B + F_i. \quad (2.17)$$

Враховуючи електричні та механічні втрати, де $\text{ККД}_{\text{ел}} = 0,9$; $\text{ККД}_{\text{мех}} = 0,95$, то:

$$F_m = \frac{F_K + F_{\Pi} + F_{\text{пов}} + F_i}{\eta_e \eta_m} = K_0 + K_1 V^2 + K_2 a, \quad (2.18)$$

де K_0, K_1, K_2 – постійні коефіцієнти.

$$F_m = \frac{1079,1 + 32373 + 2,847 \cdot V^2 + 12602.1 \cdot a}{0,9 \cdot 0,95} = 39125.26 + 3,33 \cdot V^2 + 14739,3 \cdot a.$$

Енергія, яка витрачається на рух ТЗ між зупинками (відстань в 1 км) згідно з тахограмою руху, розраховується як інтеграл:

$$W = \int_{l_1}^{l_2} F_m dl. \quad (2.19)$$

Рух ТЗ між зупинками складається з трьох ділянок:

- шлях, який потрібен для розгону ТЗ до 60 км/год (S_{0-1}),
- шлях рівномірного руху (S_{1-2}),
- шлях, який потрібен для повної зупинки (S_{2-3}).

Для розрахунку необхідно знайти прискорення рівномірного руху (a_p):

$$a_p = \frac{V_{\max}}{t} = 0.83 \text{ м / с}^2, \quad (2.20)$$

де V_{\max} – максимальна швидкість руху ТЗ; t – час руху ТЗ.

$$S_{0-1} = \frac{V_{\max}^2 - V_0^2}{2 \cdot a_p} = 167.33 \text{ м}. \quad (2.21)$$

$$S_{1-2} = S - S_{0-1} + S_{2-3} = 665.34 \text{ м}. \quad (2.22)$$

$$S_{2-3} = S_{0-1} = 167.33 \text{ м}. \quad (2.23)$$

Для трьох інтервалів руху обсяг енергії розраховується за формулами:

$$W_1 = K_0 S_1 + K_1 a_p S_1^2 + K_2 a_p S_1; \quad (2.24)$$

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$W_2 = K_0 S_2 + K_1 v_{\max}^2 S_2; \quad (2.25)$$

$$W_3 = K_0 S_3 + K_1 v_{\max}^2 S_3 + \frac{4K_1 v_{\max} \sqrt{2a_2 S_3^3}}{3} + 2K_1 a_2 \frac{S_3^2}{2} + K_2 a_2 S_3, \quad (2.26)$$

де S_1, S_2, S_3 – відстані, які проходить ТЗ, протягом відповідного інтервалу руху.

Миттєва потужність, яка споживається ТЗ протягом руху, знаходиться як похідна по часу від отриманих значень енергій W_1, W_2, W_3 на інтервалах:

$$P_1(t) = \frac{dW_1}{dt} = K_0 a_p t + K_1 a_p^3 t^3 + K_2 a_p^2 t; \quad (2.27)$$

$$P_2(t) = \frac{dW_2}{dt} = K_0 v_{\max} + K_2 v_{\max}^3; \quad (2.28)$$

$$P_3(t) = \frac{dW_3}{dt} = K_0 (v_{\max} + a_2 t) + K_1 v_{\max}^2 (v_{\max} + a_2 t) + K_2 a_2 (v_{\max} + a_2 t) + \\ + 2K_1 v_{\max}^2 \sqrt{2a_2} (v_{\max} + a_2 t) \cdot (v_{\max} t + \frac{a_2 t^2}{2}) + 2K_1 a_2 (v_{\max} + a_2 t) (v_{\max} t + \frac{a_2 t^2}{2}). \quad (2.29)$$

Так як ТЗ починає рухатися з місця, то в початковий момент часу ТЗ буде витрачати найбільшу потужність [24].

При постійній швидкості сили, які діють на ТЗ будуть менші, ніж у початковий момент часу (рис.2.5).

При гальмуванні за рахунок того, що електромагнітне поле ротора буде змінюватись швидше, ніж електромагнітне поле статора, то буде відбуватися процес рекуперації, тобто електродвигун буде виконувати роль генератора.

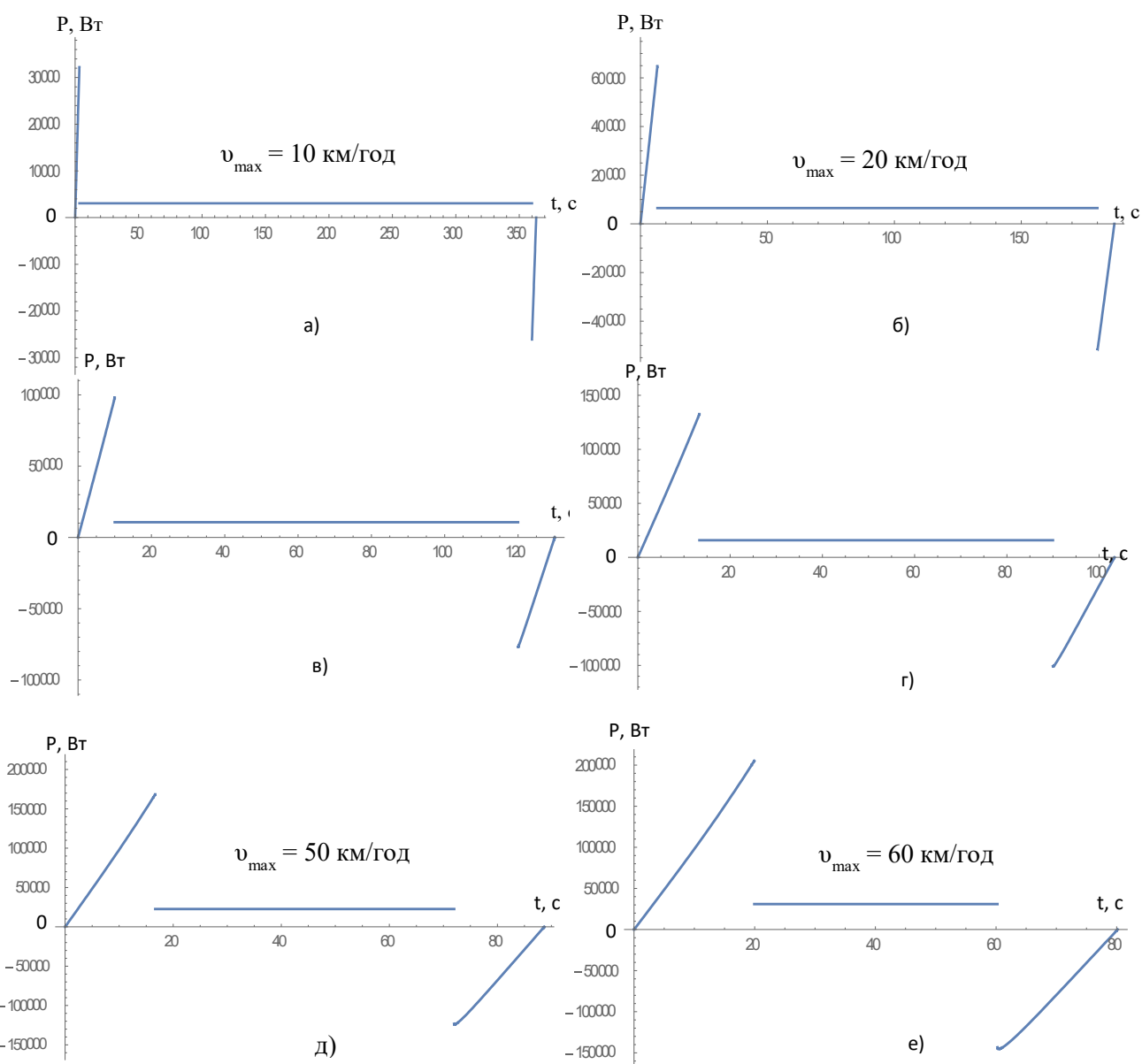


Рис. 2.5 Залежність потужності, необхідної для руху ТЗ, від часу: а) $v_{\max} = 10$ км/год, б) $v_{\max} = 20$ км/год, в) $v_{\max} = 30$ км/год, г) $v_{\max} = 40$ км/год, д) $v_{\max} = 50$ км/год, е) $v_{\max} = 60$ км/год.

З графіків видно, що потужність під час розгону значно більше, ніж при постійній швидкості руху. Тому на практиці на великих швидкостях обмежують прискорення, що дозволяє зменшити пікові потужності [25] як показано на рис. 2.6.

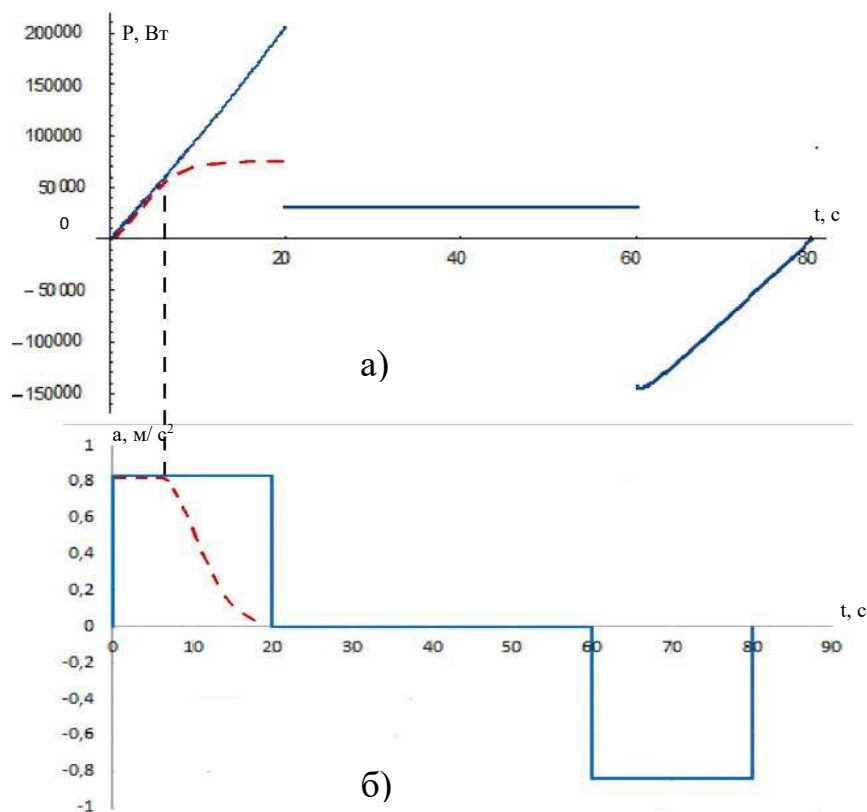


Рис. 2.6 Ілюстрація принципу обмеження прискорення під час розгону: а) залежність потужності від часу, б) залежність прискорення від часу.

2.4.3 Розрахунок ємності системи акумулювання

Перш за все треба визначити, яка кількість енергії необхідна для руху ТЗ між зупинками. Припустимо, що ця відстань складає один кілометр.

Енергія, яка буде необхідна для руху ТЗ для різних кутів нахилу дорожнього полотна наведені в табл. 2.1. Дані було розраховано за формулами 2.24 – 2.26.

Таблиця 2.1

α , град	$v_{\max} = 10$ км/год	$v_{\max} = 20$ км/год	$v_{\max} = 30$ км/год	$v_{\max} = 40$ км/год	$v_{\max} = 50$ км/год	$v_{\max} = 60$ км/год
18°	$3.35 \cdot 10^7$ Дж	$3.35 \cdot 10^7$ Дж	$3.36 \cdot 10^7$ Дж	$3.38 \cdot 10^7$ Дж	$3.39 \cdot 10^7$ Дж	$3.41 \cdot 10^7$ Дж
0°	$1.10 \cdot 10^6$ Дж	$1.17 \cdot 10^6$ Дж	$1.27 \cdot 10^6$ Дж	$1.40 \cdot 10^6$ Дж	$1.54 \cdot 10^6$ Дж	$1.70 \cdot 10^6$ Дж
-18°	$-3.13 \cdot 10^7$ Дж	$-3.11 \cdot 10^7$ Дж	$-3.10 \cdot 10^7$ Дж	$-3.09 \cdot 10^7$ Дж	$-3.08 \cdot 10^7$ Дж	$-3.06 \cdot 10^7$ Дж

З наведених даних можемо зробити висновок, що кількість затрачуваної енергії суттєво залежить від нахилу дорожнього покриття.

Треба взяти до уваги, що акумулятор системи повинен заряджатися за короткий проміжок часу [37]. Адже час заряджання буде відповідно часом стоянки ТЗ на зупинці. Тривалість зупинки буде складати приблизно одну хвилину ($t_z=1$ хв). Процес же розряджання буде проходити за той час коли ТЗ рухається між зупинками, це приблизно складає 5 хвилин ($t_p=5$ хв).

Якщо виходячи з даних наведених у табл. 2.1 обрати ємність акумулятора C , то розрядний струм акумулятора становитиме $I_p = C / t_p > 12C$, зарядний струм акумулятора $I_z = C / t_z > 60C$.

На даний час типи акумуляторів, які зараз існують не здатні задовольнити таких зарядних і розрядних режимів [26,35], тому ємність таких акумуляторів повинна братись із запасом, що нівелює переваги пропонованої системи.

То в такому разі пропонується використовувати суперконденсатори в якості системи акумуляування енергії [27]. Ємність C системи акумуляування розраховується для діапазону робочих напруг системи електротранспорту $U = 400..600$ В.

$$C = \frac{2W}{(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)} = \frac{2 \cdot 3.41 \cdot 10^7}{(600^2 - 400^2)} = 341 \text{ Ф.} \quad (2.30)$$

Розрахована ємність системи накопичення енергії на суперконденсаторах забезпечить рух ТЗ при максимальному куті підйому дорожнього полотна, $\alpha = 18^\circ$.

В табл. 2.2 [18] наведено порівняння суперконденсатора з літій-іонним акумулятором.

Виходячи з наведених даних та розрахунків можна зробити висновок, що використання суперконденсаторів є доцільніше ніж літій-іонних акумуляторів.

В якості акумулятора пропонується використовувати конденсаторну батарею компанії Maxwell BM0D0063 P125 B08 [28] (рис.2.7).

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.2

Характеристики	Суперконденсатор	Стандартний літій-іонний акумулятор
Час зарядки	1-10 секунд	10-60 хвилин
Кількість циклів	1 мільйон або 30 тисяч год	500 і більше
Напруга комірки	Від 2.3 до 2.75 В	3.6 В номінал
Питома енергоємність (Вт'год / кг)	5 (стандартно)	120-240
Питома потужність (Вт / кг)	до 10 тисяч	1000-3000
Вартість кілограм вата	\$ 10000	\$ 250-1000 (великі системи)
Час життя	10-15 років	від 5 до 10 років
Допустимий зарядний діапазон температур	від -40°C до 65°C	від 0°C до 45°C
Допустимий розрядний діапазон температур	Від -40°C до 65°C	от -20°C до 60°C



Рис.2.7 Батарея компанії Maxwell BM0D0063 P125 B08

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Характеристики одного такого блоку наступні:

номінальна ємність: 63 Ф;

мінімальна ємність, початкова: 63 Ф;

максимальна ємність, початкова: 76 Ф;

номінальна напруга: 125 В;

абсолютна максимальна напруга: 136 В;

абсолютний максимальний струм: 1900 А;

кількість комірок: 48;

діапазон температур: -45°C–65 °C;

вага: 61 кг.

Для забезпечення розрахованої ємності необхідно з'єднати послідовно 6 блоків із п'яти паралельно з'єднаних ємнісних батарей.

Масогабаритні показники такої ємнісної батареї наступні:
 $9,3м \times 0,1м \times 0,265м (Д \times Ш \times В)$, вага складає 1830 кг.

2.4.4 Система балансування

Метод пасивного балансування застосовується для рівномірного заряджання конденсаторних батарей [36]. Цей метод заключається в тому, що паралельно конденсаторам підключають шунтуючі резистори. Пасивне балансування виконується шляхом відбору зайвої енергії в виді тепла на шунтуючі резистори [29]. Схема пасивного балансування зображена на рис. 2.8.

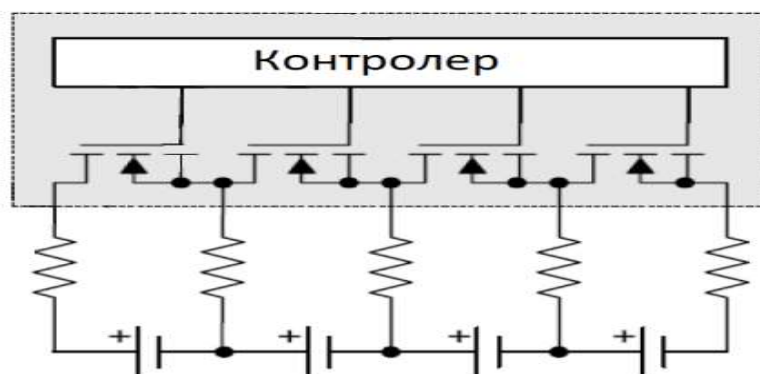


Рис. 2.8 Схема пасивного балансування

Контролер призначений для того, щоб контролювати, які комірки будуть перенаповнені на резистори.

Припустимо, що один конденсатор заряджається швидше, в такому випадку пасивна система балансування буде намагатися зменшити зарядний струм того конденсатора, напруга на якому буде зростати швидше. Тобто він буде зашунтований резистором. То ж через конденсатор буде протікати зменшений струм заряджання, інша його частина протікатиме через шунт (рис.2.8).

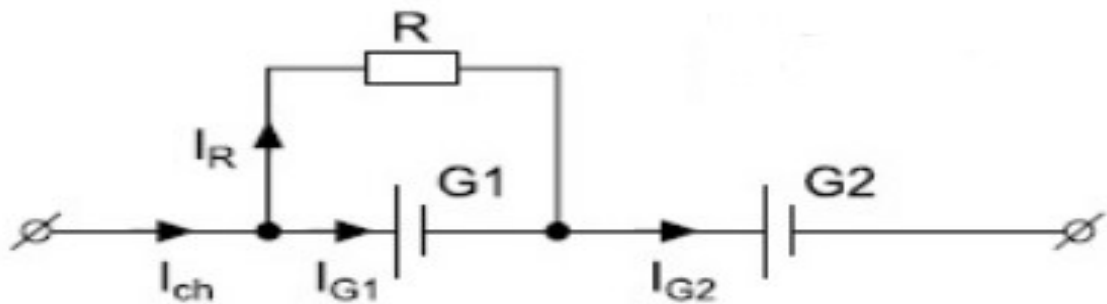


Рис. 2.9 Шунтування акумулятора резистором

Зазвичай опір таких резисторів обирається таким чином, щоб створюваний ними струм шунтування перевищував на порядок струм витоку конденсаторної батареї $I_{вит}=10$ мА [30]. Розрахуємо опір такого резистора:

$$R = \frac{U_{конд}}{I_{вит}} = \frac{125}{10 \cdot 10^{-3}} = 12.5 \text{ кОм}, \quad (2.31)$$

де $U_{конд}$ – номінальна напруга конденсатора; $I_{вит}$ – максимальний струм витоку.

Приймаючи до уваги умову про струм шунтування резистора достатньо буде резистора номіналом $R=1$ кОм. Оскільки всі конденсаторні батареї однакові та від одного виробника, то шунти будуть однаковими.

2.5 Розрахунок елементів схеми

Розрахунок проводиться на основі однієї комірки SEPIC (single-ended primary inductor converter) перетворювача. Схема комірки на основі Sepic перетворювача зображена на рис. 2.10.

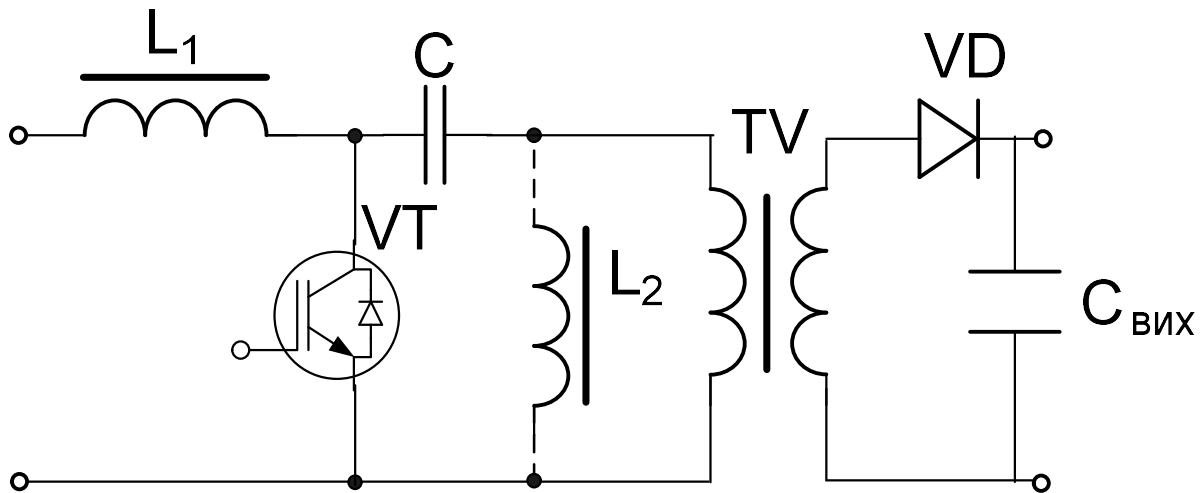


Рис.2.10 Комірка на основі Sepic перетворювача

На схемі індуктивність L_2 показана пунктиром, оскільки вона є індуктивністю намагнічування трансформатора TV.

Розглянемо режим роботи Sepic перетворювача, коли на його вхід подається постійна напруга $U_{in}=380\text{ В}$.

Для розрахунку обираємо амплітудне значення напруги мережі

$$U_{in} = 380 \cdot 1.41 = 535.8\text{ В}. \quad (2.32)$$

Розглянемо усталений режим роботи багатокоміркового пристрою для найпростішого випадку, коли він складається з двох комірок. У цьому випадку кожна комірка працює з коефіцієнтом заповнення $\gamma = 0.5$ та фазовим зсувом $\varphi = \pi$.

Розрахуємо потужність зарядного пристрою:

$$P = \frac{W}{t_{зар}} = \frac{3.41 \cdot 10^7}{60} = 5.7 \cdot 10^5\text{ Вт}. \quad (2.33)$$

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$I = \frac{P}{U_{in}} = \frac{5.7 \cdot 10^5}{535.8} = 1.1 \text{ кА}. \quad (2.34)$$

Вхідна індуктивність L_1 обирається з умови забезпечення заданого амплітудного значення вхідного струму $I = 1.1 \text{ кА}$ при заданому періоді роботи перетворювача $T = 1/50000 = 2 \cdot 10^{-5}$

$$L_1 = \frac{U_{in}}{I_{1m}} \gamma T = \frac{535.8}{1100} \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 5.4 \text{ мкГн}. \quad (2.35)$$

У безперервному режимі коефіцієнт трансформації трансформатора TV розраховується згідно з вольтсекундними характеристиками:

$$n = \frac{U_{out}(1-\gamma)}{U_{in}\gamma} = \frac{600 \cdot (1-0.5)}{535.8 \cdot 0.5} = 1.12. \quad (2.36)$$

Згідно з формулою в цьому режимі співвідношення m між вихідною U_{out} і вхідною U_{in} є таким :

$$m = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{n\gamma}{(1-\gamma)} = \frac{1.12 \cdot 0.5}{1-0.5} = 1.12. \quad (2.37)$$

Індуктивність L_2 розраховується наступним чином:

$$L_2 = \frac{L_1}{n \cdot m} = \frac{5.4 \cdot 10^{-6}}{1.12^2} = 4.3 \text{ мкГн}. \quad (2.38)$$

Ємність конденсатора C розраховується з умови, щоб резонансна частота ω_r утворена реактивними елементами C , L_1 , L_2 була значно вищою частоти мережі $\omega_g = 50 \text{ Гц}$:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{C(L_1 + L_2)}} \gg \omega_g. \quad (2.39)$$

Допустимо, що ємність конденсатора $C = 100 \text{ мкФ}$, тоді можемо розрахувати резонансну частоту

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{C(L_1 + L_2)}} = \frac{1}{\sqrt{100 \cdot 10^{-6} \cdot 9.7 \cdot 10^{-6}}} \gg 50 \text{ Гц}.$$

Оскільки, виконується умова 2.39, то ємність конденсатора буде дорівнювати 1мкФ.

Вихідна ємність конденсатора розраховується за наступною формулою:

$$C_{вих} = \frac{I}{2\pi f \sqrt{|U_{мер}^2 - U_{вих}^2|}} = 7.5 \text{ мФ}, \quad (2.40)$$

де I– вхідний струм; f– робоча частота; U_{мер}– напруга мережі; U_{вих}– напруга на виході.

Для розрахунку трансформатора оберемо сердечник фірми Epcos E80 (рис.2.11).

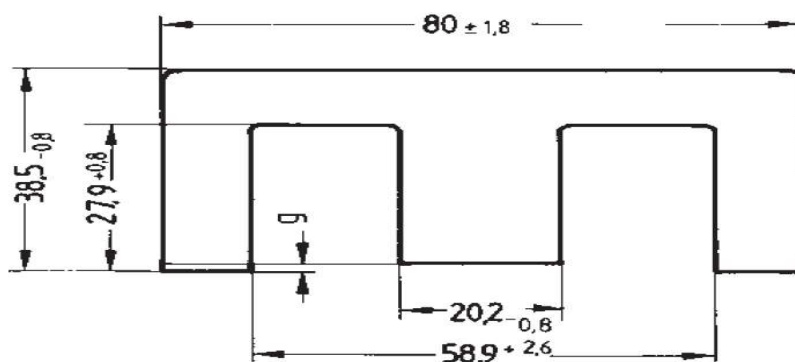


Рис.2.11 Габаритні розміри Epcos E80

Трансформатор буде складатися з двох окремих частин (рис.2.11): передаючої та отримуючої. Передаюча частина трансформатора буде розташована у дорожньому полотні, а отримуюча буде знаходитися під ТЗ. До того ж частина трансформатора, яка знаходиться в ТЗ буде рухатися у напрямку передаючої частини, таким чином можна буде змінювати повітряний зазор.

Також внаслідок того, що досить важко розташувати кожную з частин трансформатора точно одна навпроти одної, використовуються пластини, які збільшують площу на якій буде можна передавати енергію (рис.2.12). Вони будуть встановлені на кожному штирі передаючої частини трансформатора, що

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

знаходиться дорожньому полотні. Розміри пластин розраховані таким чином, щоб був проміжок між ними.

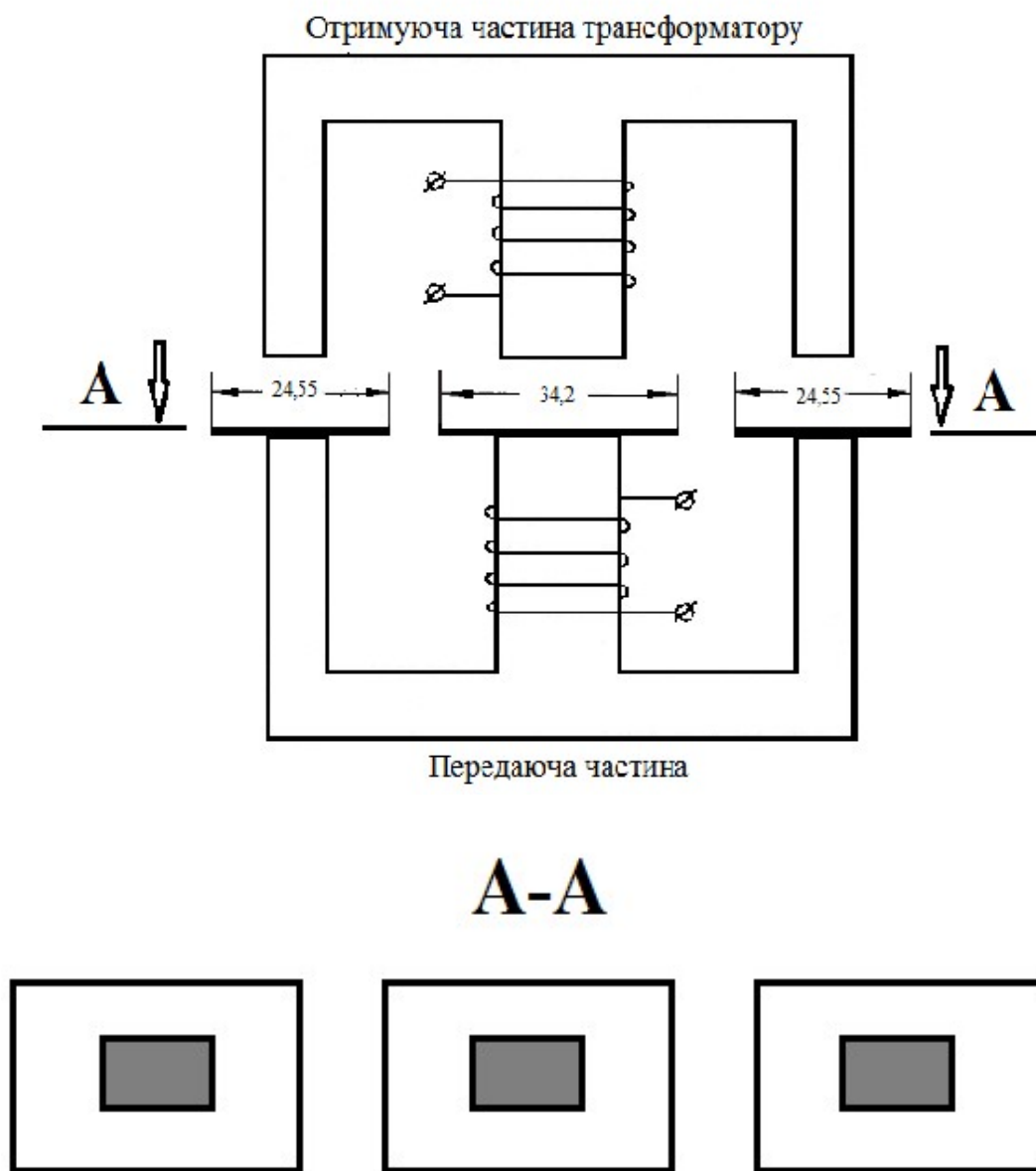


Рис.2.12 Структура трансформатора

Кількість обмоток на сердечнику розраховується за наступною фотмулою [31]:

$$N = \sqrt{L_2 / A_L} = \sqrt{\frac{4.3 \cdot 10^{-6}}{882 \cdot 10^{-9}}} = 2шт, \quad (2.41)$$

де A_L – так званий коефіцієт індуктивності.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Площа проводу:

$$S_{пров} = \frac{I}{j} = \frac{1100}{10} = 110 \text{ мм}^2, \quad (2.42)$$

де j - допустима щільність струму (j при початковому розрахунку приймають значення 10 А / мм^2).

Площа вікна розрахована [31]:

$$S_{вік} = \frac{N \cdot S_{пров}}{k_{зап}} = \frac{2 \cdot 110}{0.3} = 733 \text{ мм}^2, \quad (2.43)$$

де $S_{пров}$ – площа перерізу дроту; $k_{зап}$ - коефіцієнт заповнення вікна. Типове значення $k_{зап}$ по міді становить 0,3.

Площа вікна складає двох сердечників Е80 складає:

$$S_{вік\ серд} = \frac{58.9 - 20.2}{2} \cdot 2 \cdot 27.9 = 1080 \text{ мм}^2, \quad (2.44)$$

Розрахуємо діаметр проводу, який необхідний:

$$d_{пров} = 2\sqrt{\frac{S_{пров}}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{110}{\pi}} = 11.8 \text{ мм}. \quad (2.45)$$

Перевіряємо коефіцієнт заповнення вікна:

$$k = \frac{2 \cdot S_{пров}}{S_{вік\ серд}} = \frac{220}{1080} = 0.2. \quad (2.46)$$

Можна зробити висновок, що площі вікна даного сердечника вистачить.

Внаслідок того, що трансформатор працює на високій частоті присутній скін ефект. Це фізичне явище, яке полягає в тому, що густина змінного струму нерівномірно розподіляється по перерізу провіднику. Вона приймає найбільше своє значення на його поверхні і зменшується з глибиною. На дуже великих частотах струм може існувати тільки в приповерхневих зонах.

Тому виходячи з вище зазначеного необхідно брати не один провідник, а декілька, які будуть скручені в одну жилу. Обираємо мідний провід з діаметром $d=2\text{мм}$ і площею поперечного перерізу $S_{перер}=3.132 \text{ мм}^2$.

Розрахуємо кількість проводів в жилі:

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{S_{пров}}{S_{перер}} = \frac{110}{3.132} = 35шт . \quad (2.47)$$

Отже, в жилі буде 35 провідників діаметром $d=2\text{мм}$ кожний. Сумарна їх площа не перевищує площі одножильного проводу, розрахованого вище (2.42).

Оберемо транзистори для силової частини зарядного пристрою за наступними критеріями: U_{KE} і I_K .

З вище наведених розрахунків транзистор повинен витримувати напругу в 535.8 В і струм в 1100 А.

По цим параметрам оберемо силовий модуль FF1200R12KE3. Основні параметри цього елемента наведені в табл. 2.3:

Таблиця 2.3

Напруга колектор емітер (UCES), В	1200
Напруга база-емітер (UGE), В	-20..20
Час наростання (ton), мкс	0,22
Час спаду (tof), мкс	0,18
Повний заряд затвору, мкКл	11,5
Номінальний струм колектора (Ic), А	1200
Наявність діода	Так
Номінальний струм діоду (IF), А	1200

Вихідні діоди а також діоди у діодному мості будемо використовувати однакові A330PB, так як вони розраховані на однакову потужність ($I_{F(AV)}=1200\text{ А}$, $U=1500\text{ В}$).

2.6 Розрахунок драйвера

Для того, щоб драйвер мав змогу керувати транзисторами він повинен задовольняти такі критерії: V_{GE_ON} і V_{GE_OFF} - час відпирання і запирання

відповідно, P_{PO3} - потужність розсіювання $Q_{затв}$ - заряд затвора I_{OUT} - струм керування [19].

За своїм призначенням драйвер необхідний для відкривання та закривання транзистора, тобто для керування ним. Керування відбувається за рахунок того, що драйвер виконує заряд затвору до кінцевого відпираючого значення $V_{GE_ВДП}$, або розряджає його аж до досягання напруги на затворі запираючого рівня V_{GE_MAX} . такі характеристики були взяті з даташиту транзистора. $V_{GE_ВДП} = 5 \text{ В}$, $V_{GE_MAX} = 6.5 \text{ В}$.

Для розрахунків візьмемо максимальне значення заряду затвору транзисторного модуля з даташит:

$$Q_{затв} = 11.5 \text{ мкКл}. \quad (2.48)$$

Частоту комутації буде розрахована з параметрів перетворювача. Виходячи з того, що схема працює в імпульсному режимі на частоті 50 кГц , то комутація транзистора буде відбуватися два рази за один період. З вище сказаного оберемо частоту комутації вдвічі більшою за частоту перетворювача: $f_{ex} = 100 \text{ кГц}$.

Для переходу між двома рівнями напруг на затворі необхідно, щоб відбувалося розсіювання деякого визначеного рівня потужності в контурі між драйвером затвору, резисторами в колах керування затвору і силовим напівпровідником. Тому таку потужність можна розрахувати за наступною формулою:

$$P_{PO3} = 2 \cdot Q_{затв} \cdot f_K \cdot \Delta V_{затв} = 3,45 \text{ Вт}. \quad (2.49)$$

де $Q_{затв}$ - заряд затвора, f_K - частота комутації, $\Delta V_{затв}$ - різниця напруг керування транзистором. Драйвер IR422х буде використовуватися так як він задовольняє необхідні параметри.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3.МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ЗАРЯДНОГО ПРИБОРУ

3.1 Моделювання у середовищі PSIM

PSIM – це пакет програмного забезпечення для моделювання електричних ланцюгів, розроблений для того, щоб використатися в силовій електроніці. Може бути застосований для моделювання будь-якої електронної схеми.

Моделювання буде проводитися на прикладі двох паралельно з'єднаних *Seris* перетворювачів (рис.3.1).

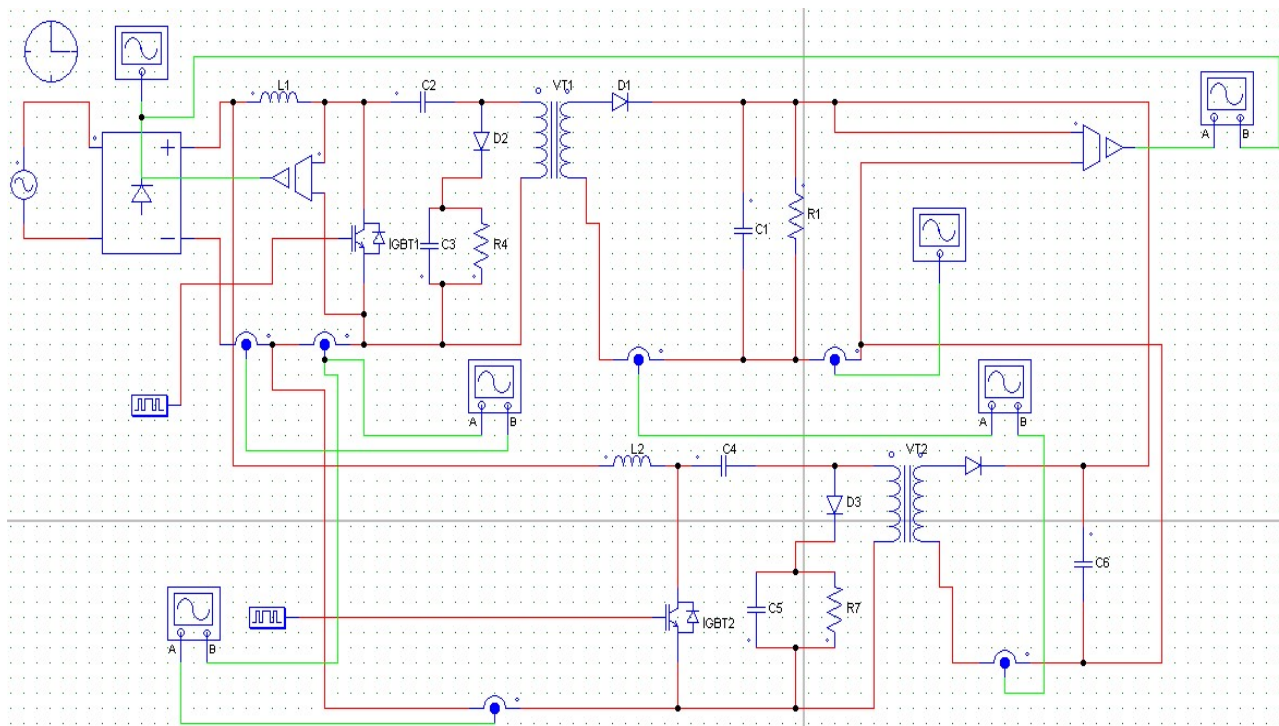


Рис.3.1 Модель у середовищі PSIM

Дана модель була створена за допомогою бібліотеки Elements, в якій були використані наступні підрозділи: Power, Other, Sources, Sensors.

Для початку необхідно встановити синусоїдальне джерело напруги. Це є однією з переваг *Seris* перетворювача, що від мережі відбирається синусоїдальний струм. Наступним кроком є створення силової частини

зарядного пристрою за допомогою підрозділів, які наведені вище, а також з'єднання елементів схеми. Виконавши, ці кроки для коректної роботи транзисторів необхідно подати на них імпульси керування за допомогою блоку під назвою Gating block, в якому встановлюється коефіцієнт заповнення імпульсів та робоча частота (рис.3.2).

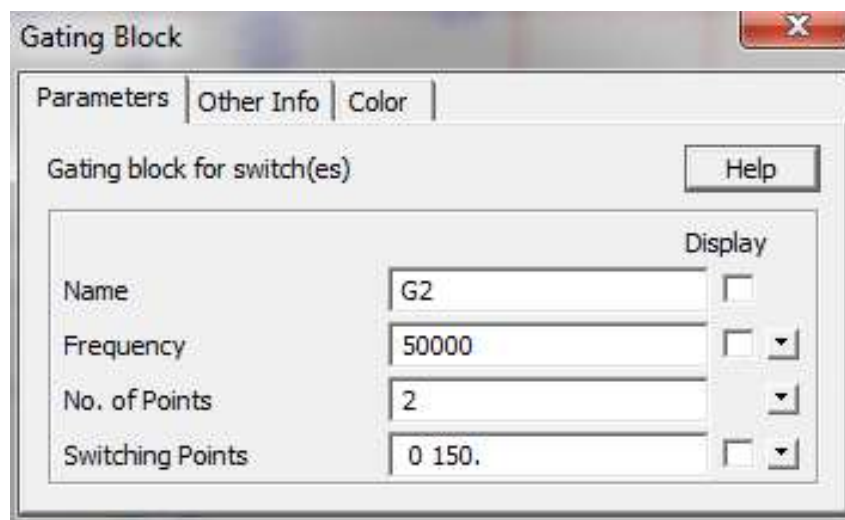


Рис.3.2 Gating Block

Далі необхідно встановити блок контролю симуляції (Simulation control), в якому встановлюються параметри самої симуляції (рис.3.3).

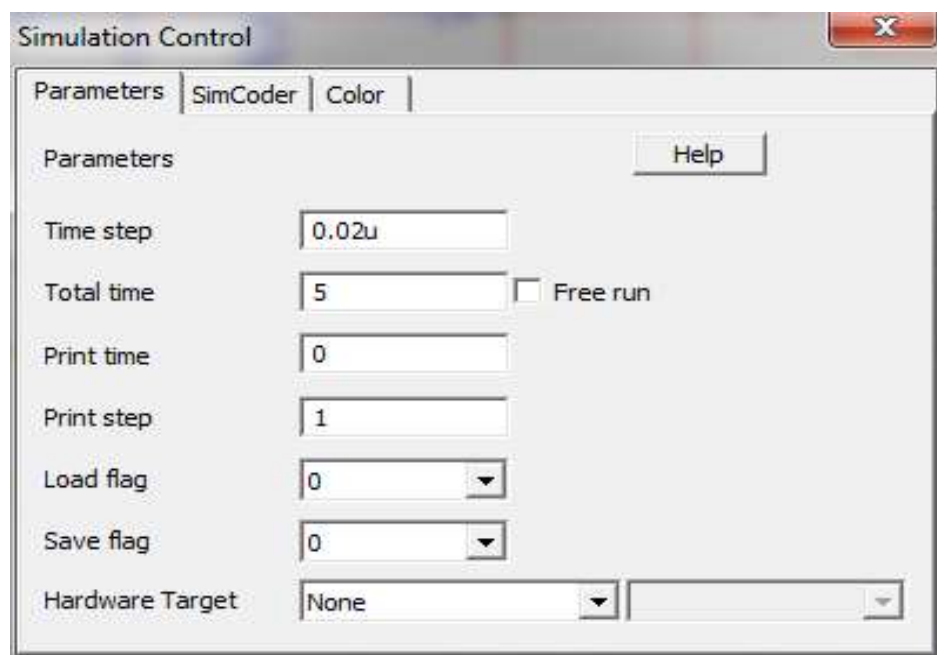


Рис.3.3 Simulation control

Останнім же кроком є встановлення сенсорів напруги, які дають змогу відображати данні на осцилографі під час симуляції схеми.

На рис.3.4 зображені струми дроселя L_1 та L_2 відповідно.

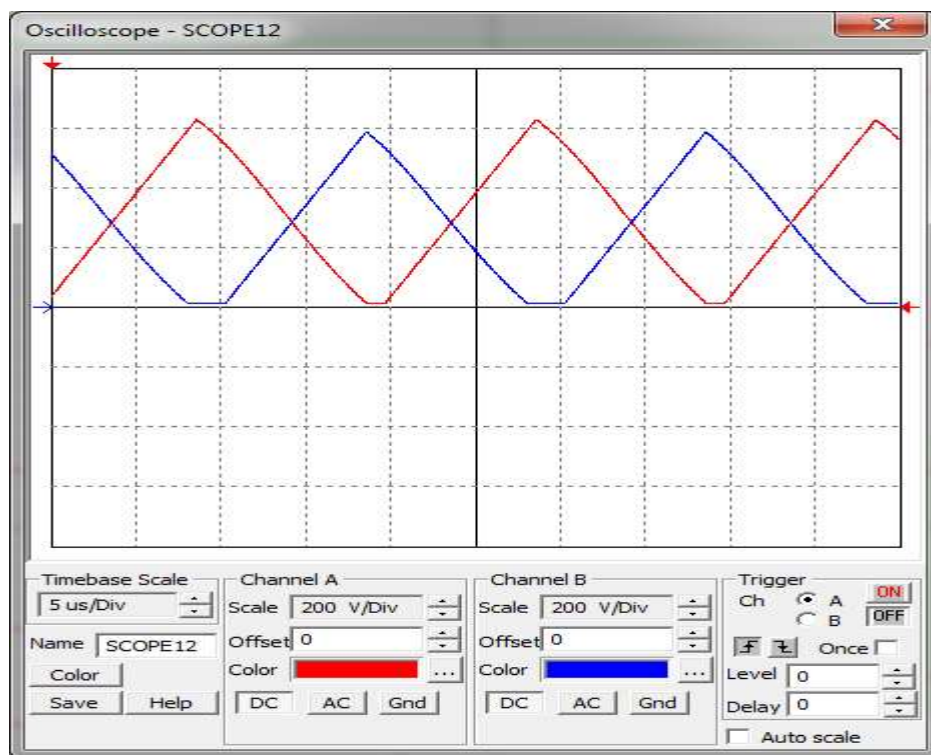


Рис.3.4 Струми дроселя L_1 та L_2

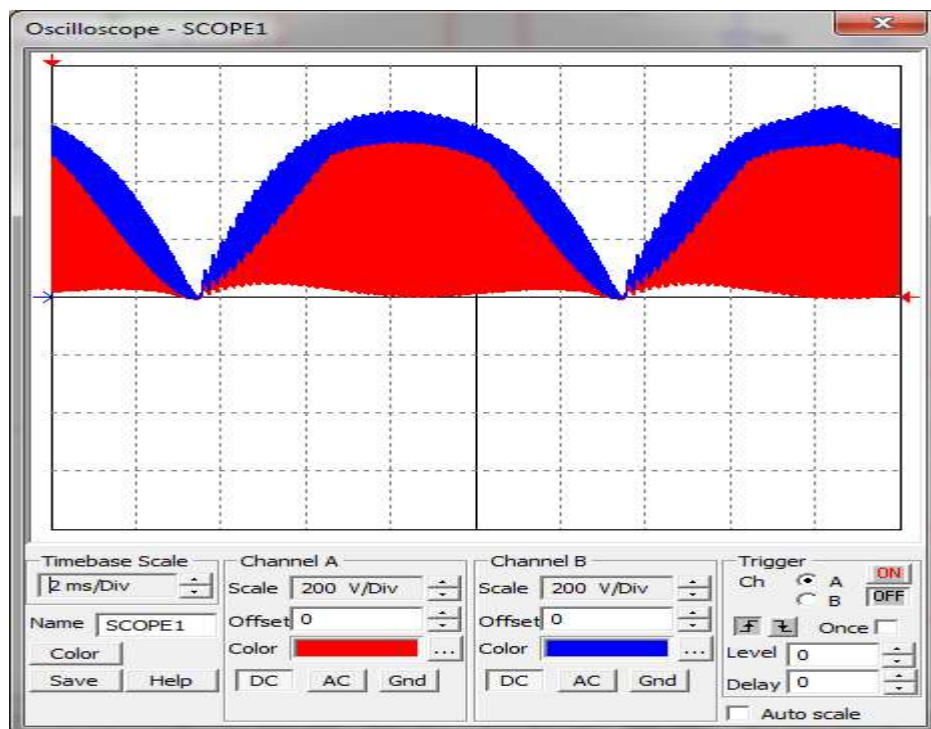


Рис.3.5 Сумарний струм(канал В)

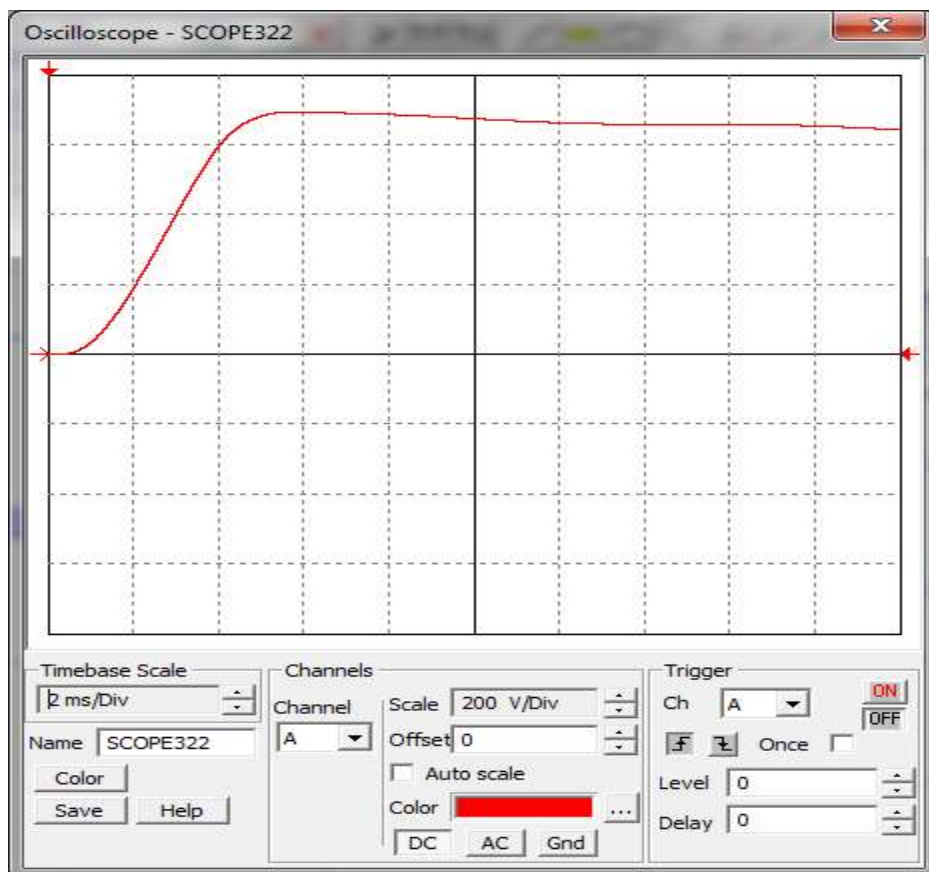


Рис.3.6 Струм на навантаженні (при $\gamma=0.5$)

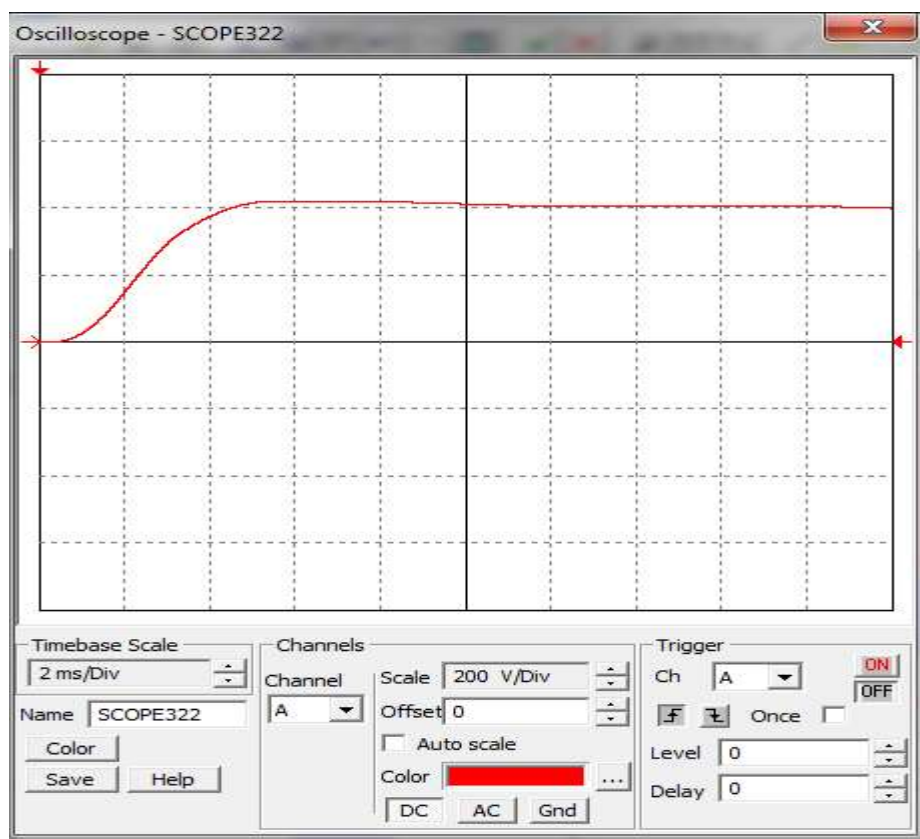


Рис.3.7 Струм на навантаженні (при $\gamma=0.33$)

Розрахунки коефіцієнтів проводяться для діапазону напруг заряджання акумулятора, а саме максимальної – 600В та мінімальної – 400В. Напруга заряджання в 600В відповідає коефіцієнту заповнення імпульсів $\gamma=0.5$. Виходячи з цього можемо розрахувати коефіцієнт для напруги 400 В, склавши пропорцію:

$$\begin{aligned} 600 \hat{A} - 0.5; \\ 400 \hat{A} - \gamma; \\ \gamma = \frac{400 \cdot 0.5}{600} = 0.33. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Коефіцієнт гармонічних викривлень

Коефіцієнт гармонічних викривлень дорівнює відношенню середньоквадратичної напруги суми вищих гармонік сигналу, крім першої, до напруги першої гармоніки при впливі на вхід пристрою синусоїдального сигналу. Розраховується за формулою (3.1) [32].

Для $\gamma=0.5$:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_n^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{U_{rms}^2 - U_1^2}}{U_1} = 0.22 \cdot 100\% = 22 \%, \quad (3.2)$$

де $U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_n^2$ – середньо квадратична сума напруг вищих гармонік; U_1 – напруга першої гармоніки.

Для $\gamma=0.33$:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_n^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{U_{rms}^2 - U_1^2}}{U_1} = 0.3 \cdot 100\% = 30 \% \quad (3.3)$$

Розрахунок коефіцієнта потужності

Для розрахунку коефіцієнта потужності скористаємося формулою (3.2) [33].

Для $\gamma=0.5$:

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$\chi = \sqrt{\frac{1}{1+K_{\Gamma}^2}} = 0.98 \cdot 100\% = 98\%, \quad (3.4)$$

де K_{Γ} – коефіцієнт гармонічних викривлень.

Для $\gamma=0.33$:

$$\chi = \sqrt{\frac{1}{1+K_{\Gamma}^2}} = 0.96 \cdot 100\% = 96\% \quad (3.5)$$

Формули (3.3, 3.4) дійсні для того випадку коли зсув фаз між струмом і напругою відсутній, як і нашому випадку.

Коефіцієнт потужності вийшов досить великий, що свідчить про високу якість споживання енергії.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В порівнянні з дротовими системами зарядки бездротові мають ряд переваг. Зарядка електричних транспортних засобів через провід, на відміну від бездротового типу, завжди має ризик для безпеки, який обумовлюється прямим контактом з зарядним пристроєм. Також бездротові системи заряджання є зручнішими та простішими у використанні. Статична система передачі енергії найкраще підходить для використання у громадських транспортних засобах, до того ж вона комерційно вигідніша ніж динамічна. Обумовлено це тим, що для статичної системи розташування зарядних пристроїв необхідно лише на зупинках. В той час для динамічних необхідно розташовувати на всьому маршруті руху транспорту. Система заряджання, яка пропонується дозволить використовувати акумулятор меншої ємності, а також зменшити масогабаритні показники ТЗ. Силова частина зарядного пристрою розроблена на основі Sepic (single-ended primary inductor converter) перетворювача. На кожен фазу під'єднано по два таких перетворювача, які між собою з'єднані паралельно, їх ще називають Interleaved (модульний) Sepic перетворювачі. Такий перетворювач здатний обробляти більшу потужність зі зменшеними пульсаціями та спотвореннями гармонік. Також на виході зберігається полярність вхідної напруги, здійснюється м'яка комутація транзисторів та зменшуються динамічні втрати. В ході роботи розроблено структурну та принципову схеми такого перетворювача.

Проведено розрахунки необхідної енергії для руху електротранспорту між зупинками та сил, які діють на транспортний засіб під час руху. Виходячи з цих даних, була розрахована ємність акумулятора, яка складала 341 Ф. Аналіз отриманих даних засвідчив, що для побудови системи акумуляування доцільно використовувати суперконденсатори через кращі навантажувальні характеристики.

Виконано моделювання силовій частини зарядного пристрою у середовищі PSIM на прикладі однієї фази. Коефіцієнт потужності вийшов

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

досить високий і складає 98% для максимальної потужності зарядного пристрою.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] K.A. Kalwar, M. Aamir, S. Mekhilef, Inductively coupled power transfer (ICPT) for electric vehicle charging – a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 47 (2015) 462–466.

[2] International Publication Number WO 2016/160349 A1 “Inductive power transfer systems for charging of electric vehicles” International Publication Date 6 October 2016 (06.10.2016).

[3] K. Jinwook, K. Do-Hyeon, P. Young-Jin, Analysis of capacitive impedance matching networks for simultaneous wireless power transfer to multiple devices, *Indust. Electr., IEEE Trans.* 62 (2015) 2807–2813.

[4] K. Kalwar, S. Mekhilef, M. Seyedmahmoudian, B. Horan, Coil design for high misalignment tolerant inductive power transfer system for EV charging, *Energies* (2016) 937.

[5] Chris Mi, co-written by Subhadeep Bhattacharya and Manoj Kumar Mallela, editors of *IEEE TEI Newsletter*, Study Methods of Wireless Power Transfer Technology in Electric Vehicle Charging (2014).

[6] Siqi Li, Member, IEEE, and Chunting Chris Mi, Fellow, Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications. *IEE Journal of emerging and selected topics in power electronics*, Vol. 3, No. 1, 2015.

[7] Fei Lu, Chris Mi San Diego State University, Recent Developments in Capacitive Wireless Power Transfer.

[8] Fei Lu, Hua Zhang and Chris Mi, A Review on the Recent Development of Capacitive Wireless Power Transfer Technology, *Energies* (2017)

[9] Grant A. Covic, Senior Member IEEE, and John T. Boys, Inductive Power Transfer, Vol. 101, No. 6, June 2013

[10] F. Musavi, W. Eberle, Overview of wireless power transfer technologies for electric vehicle battery charging, *IET Power Electr.* 7 (2014) 60–66.

[11] C. Panchal, J. Lu, S. Stegen, Static in-wheel wireless charging systems for electric vehicles, *Int. J. Sci. Technol. Res.* 6 (2017) 280–284.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[12] Stephan Schaecher, Matthias Brandl, Resonant wireless power transfer, Infineon Technologies AG (2018) 1-11.

[13] Plugless Power. [https:// www.pluglesspower.com/shop/](https://www.pluglesspower.com/shop/) (дата звернення: 17.05.19).

[14] Shubhangi Das, Kajal Pal, Prerna Goswami, M.A.K. Kerawalla, Wireless Power Transfer in Electric Vehicles, International Journal of Applied Environmental Sciences ISSN 0973-6077 Volume 13, Number 7 (2018), pp. 643-659.

[15] A. Kurs, et al., “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances”, International Journal of Advanced Engineering & Applications (IJAEA), Vol. 4, Issue 2, pp. 177-181, January 2010.

[16] Ридли Рей, Анализ преобразователя Sepic. URL: https://www.kit-e.ru/articles/circuit/2008_5_124.php (дата звернення: 06.05.2019).

[17] Dr. D.Anto Sahaya Dhas, Dr. G. Justin Sunil Dhas, and Anand.K Interleaved Sepic Converters for AC-DC Front-End Converter Application // (ICIET'2016) August 5-6, 2016, page 1-6.

[18] Абрамова О. Как устроен суперконденсатор. URL: <https://best-energy.com.ua/support/battery/bu-209> (дата звернення: 08.05.2019).

[19] Методика выбора драйвера для транзистора. URL: http://www.efo-power.ru/pub/power/Drivers/AN1001_rus.pdf (дата звернення: 11.05.2019).

[20] Мельниченко А. Методика расчета понижающего преобразователя напряжения // Источники питания: № 11, ноябрь 2011, с. 1-6.

[21] Селифанов В.В., Хусаинов А.Ш., Ломакин В.В. Теория автомобиля: Учебное пособие. –М.: МГТУ «МАМИ», 2007.–102с.

[22] Вахламов В.К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. - 560 с.

[23] Бусыгин Б.П. Электромобили (методы расчёта)- Учеб. Пособие - Москва :МАДИ 1979.-74 с.

[24] Копылов И., Клоков Б., Морозкин В. и Токарев Б. Проектирование электрических машин : учебник для вузов. – М. : Высшая школа, 2002.

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[25] Журнал «современные проблемы науки и образования» – 2014. – № 6. Хрипач Н.А. , Шустров Ф.А. , Петриченко Д.А. «Анализ эффективности энергопотребления безрельсового пассажирского транспорта на базе тягового электропривода».

[26] Вербицкий Є.В., Кисельова А. Г., Осипенко К. С. Контекстно-залежне керування автономними системами електроживлення: під загальною редакцією д.т.н. Жуйкова В.Я. – К.: Аверс, 2015. – 187 с. ISBN 978-966-8777-13-4.

[27] Хрусталеv Д.А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2004, 223 с.

[28] Datasheet 125V Heavy Transportation Module, Maxvell BMOD0063 P125 B08.

[29] Карпов М.А. Модуль балансування акумулятора LiFePO₄ для електромобіля / Магістерська дисертація: Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка. Київ, 2018.

[30] Ю.Ю. Разуваев, М.Ю. Чайка, В.В. Агупов, В.С. Горшков, Д.Е. Силютин Методы балансировки напряжений суперконденсаторных элементов // УДК 621.396.6.019.3, с.102-104.

[31] Бирюков С. Дроссели для импульсных источников питания на ферритовых кольцах.

[32] Вікіпедія: Коефіцієнт нелінійних спотворень. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт_нелінійних_спотворень/ (дата звернення: 12.05.2019).

[33] Коэффициент мощности в сетях с нелинейными нагрузками. URL: <https://www.elec.ru/articles/koefficient-moshnosti-v-setyah-s-nelinejnymi-nagru/> (дата звернення: 12.05.2019).

[34] Расчет стабилизатора LM317T. URL: <https://rcl-radio.ru/?p=25800> (дата звернення: 23.05.2019).

					ДС51.511204.001.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[35] Ievgen Verbytskyi, Oleksandr Bondarenko, Oleksandr Kaloshyn. Multicell-type charger for supercapacitors with power factor correction. Young Engineers Forum (YEF-ECE), Costa da Caparica, Portugal, 2018, Pp. 91-96.
DOI: 10.1109/YEF-ECE.2018.8368945.

[36] Galkin, I.; Blinov, A.; Verbytskyi, I.; Zinchenko, D. Modular Self-Balancing Battery Charger Concept for Cost-Effective Power-Assist Wheelchairs. Energies 2019, 12, 1526. Doi: 10.3390/en12081526/.

[37] Мартюхін І.А., Білий М.В. Транспортний засіб з акумулятором зі зменшеними масогабаритними показниками // Електронна та акустична інженерія. – 2019. – том 2, №1. – С.16–20.

					<i>ДС51.511204.001.ПЗ</i>	Арк.
						58
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

[illegible]

[illegible]

ABSTRACT

Wireless charging systems (BWS), compared with wired charging systems, can bring more benefits, namely: convenience and ease of use and the ability to contactlessly charge electrical devices. There are two types of wireless power transmission: dynamic and static. In a static type, the battery charges at certain charge points, which are located at a certain distance from each other. At the same time, with a dynamic charge type, the battery can be charged continuously, because along the route of the vehicle there is a wireless power transmission channel. The static type of transmission is commercially advantageous, due to the location of charging points at a certain distance, and not in the entire path of motion, as in the case of a dynamic type of energy transmission. However, the capacity of the battery with static BWS should be calculated at a distance of one stop on the route. Therefore, in this work such a mode of charging of transport was investigated, which allows charging of accumulators while stopping a vehicle. As a consequence, vehicle requires a smaller capacity of the battery while maintaining the desired range of travel.

Charging electric vehicles through the wire always has a safety risk, which is caused by direct contact with the charger. To avoid this, systems for charging electric vehicles based on inductive power transmission (IPS) have been developed. The IPS works due to the phenomena of electromagnetic induction and transmits power through an air transformer with closely spaced primary and secondary coils. Coils are not physically connected to each other, but are electrically insulated.

Inductive power transmission has been successfully implemented to charge the battery of a vehicle. This method has shown the promise of high power transfer with a small air gap, but with increasing air gap between the primary and secondary coils, performance is sharply reduced, due to leakage inductance.

The basic block diagram of a static BSS for an electric vehicle is shown in Fig. 1.1. To provide power transfer, the AC of the network is converted into high-

frequency (HF) alternating through AC / DC and DC / AC converters. The receiver, which is usually installed under the vehicle, converts the received electricity into a stable DC source, which is then used by on-board batteries. The Power and Battery Management System is used to avoid any security problems and to ensure stable operation.

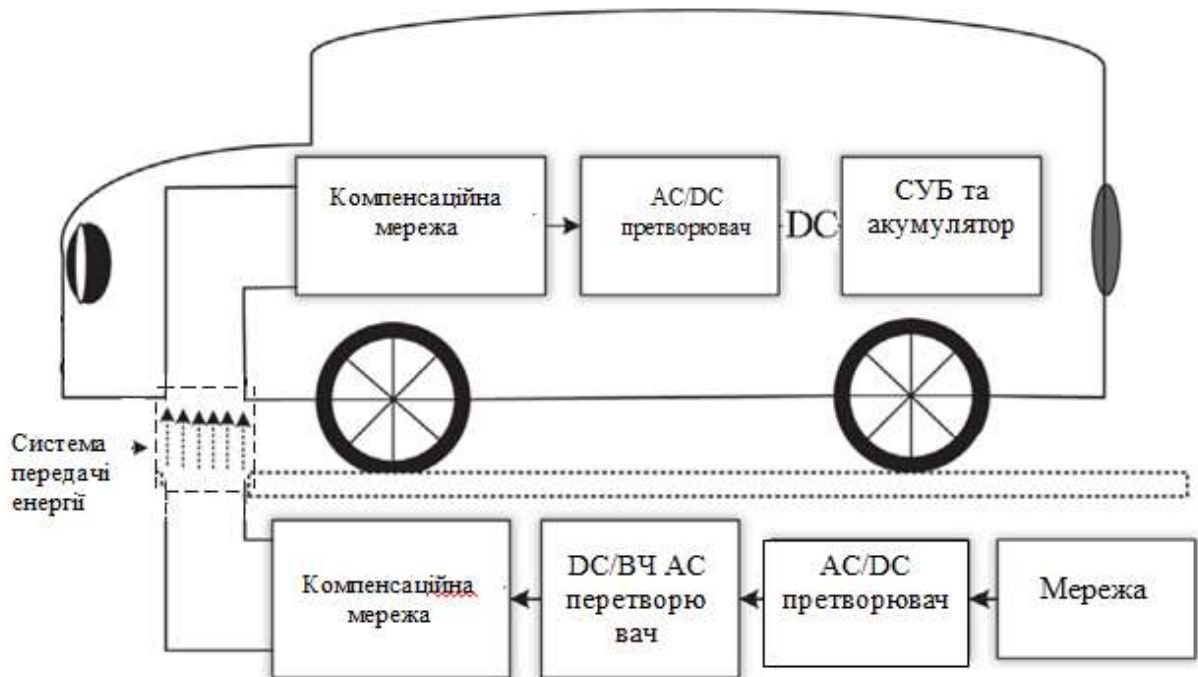


Fig.1.1 Basic block diagram of static wireless charging system for electric vehicle

Since the introduction of wireless charging systems for electric vehicle, three methods for designing were used: traditional inductive power transfer (IPT), capacitive wireless power transmission (CWPT) and resonance inductive power transmission (RIPT).

Recently, the topology of the single-ended primary inductor converter (Sepic) is often used in battery-powered devices, where, depending on the battery charge, it is necessary to reduce the voltage, then increase the input voltage.

In cases where a necessary correction of the power factor is required, and where the voltage in the wide-band DC range is required, the elevated topologies are no longer the most appropriate topology of the circuits for the universal networks. In this paper, the Sepic converter is investigated - it is a DC converter

whose output voltage can be greater, smaller or equal to the input voltage, depending on the fill factor. It is capable of providing voltage across a wide range of direct current. Sepic converter can provide work without changing polarity. The alternating technology is used to reduce filter sizes and increase efficiency. This technology lies in the fact that we parallelly connect n cells Sepic and artificially shift the phase of the gate signals to $2\pi / n$, some pulsations can be completely eliminated due to phase shift, and the current of the output capacitor decreases. As a result, the size of the output capacitor and filter can be reduced.

Interleaved converter (Fig.1.2) is capable of handling more power with reduced pulsations and distortions of harmonics. The phase of the signals entering the gate of the transistor can be artificially displaced, which will reduce the harmonics of the circuit, as well as current pulsations.

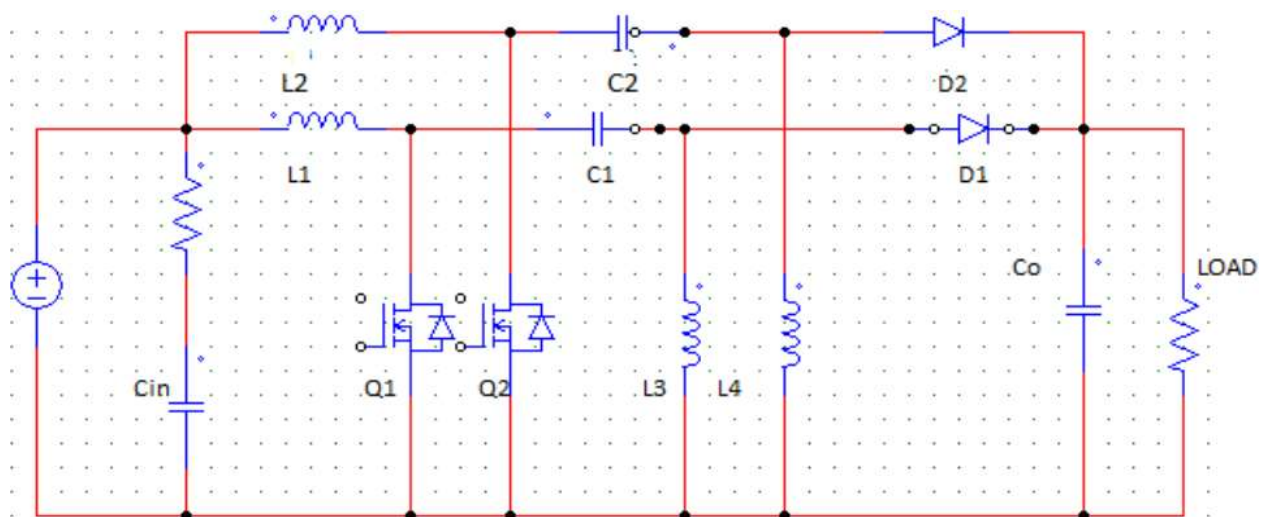


Fig.1.2 Interleaved Sepic

Such a converter can operate in two modes: up and down. To operate the circuit in the mode of increasing the charging time of the throttle more than its charging time, in the lowering mode, the entire opposite. Time charts of currents occurring in the circuit elements for both modes are shown in Fig.1.3 and Fig.1.4 respectively .

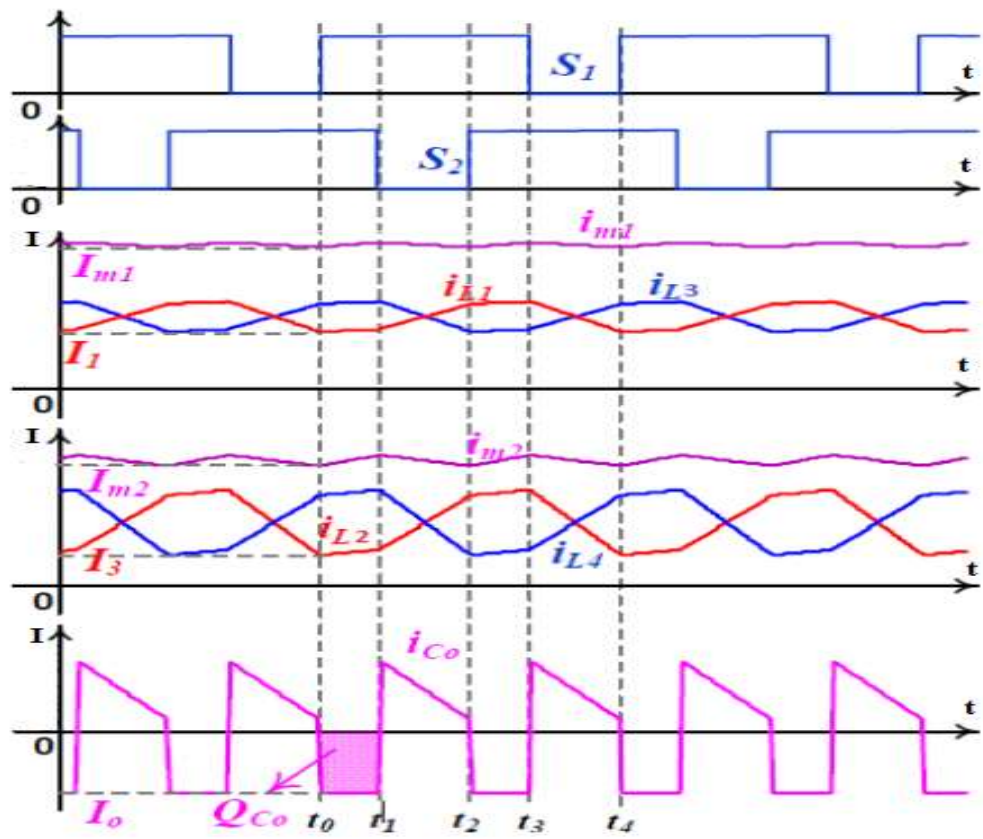


Fig.1.3 Boost mode

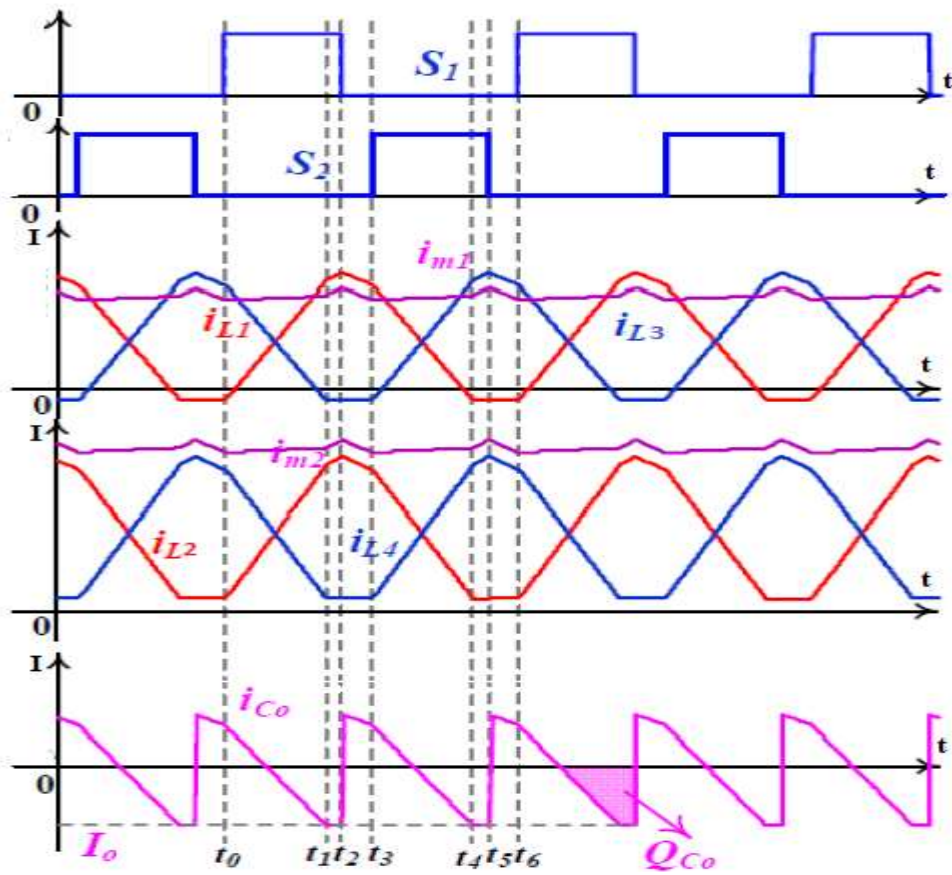


Fig.1.4 Buck mode

Therefore, the Interleaved Sepic converter is the best choice for use in wireless charging systems. It is best suited for solving problems in which it is necessary to transmit a large amount of power. At the output the polarity of the input voltage is maintained, soft switching of the transistors is carried out, dynamic losses are reduced.

The power part of the charger will consist of six Sepic transducers of two for each phase. The block diagram is shown in Fig. 1.5.

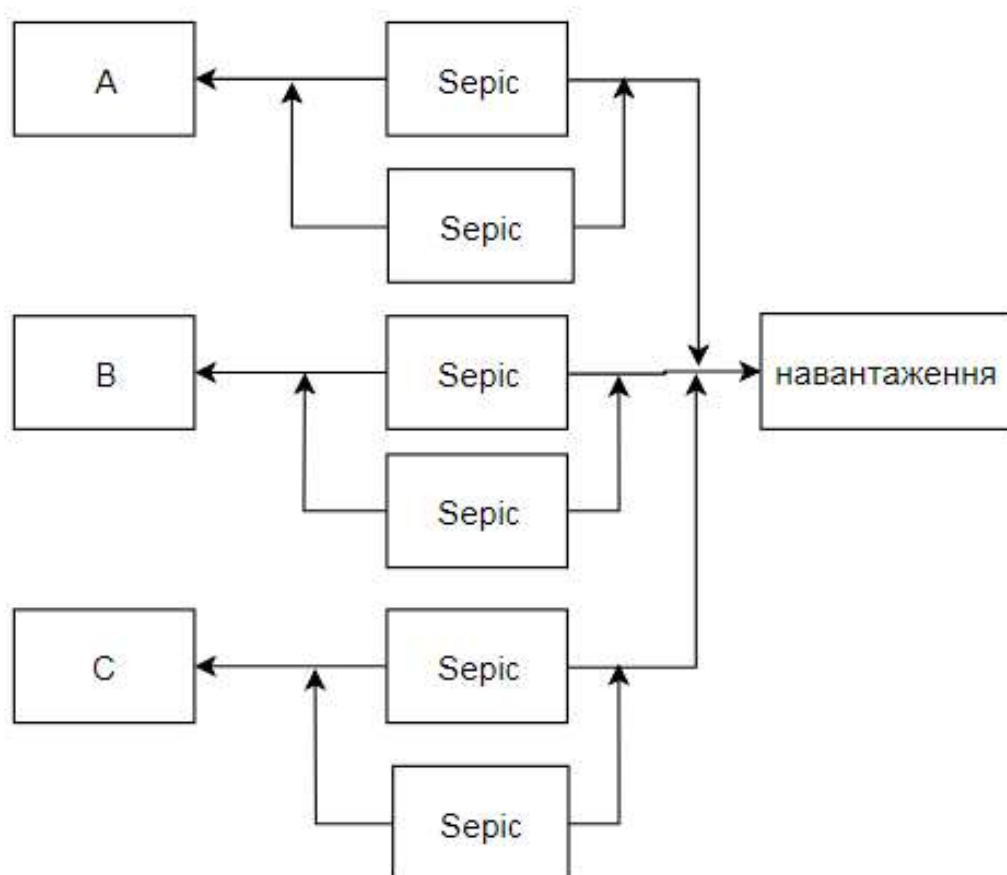


Fig. 1.5 Charger circuit diagram

Fig. 1.6 depicts the structural diagram of the electric bus. The main difference of this system from the commonly accepted systems of electric vehicle is that instead of the battery, supercapacitors will be used. Large maximum currents of discharge / charge, less weight, size and cost compared to conventional

batteries, as well as a fairly large number of discharges are the main advantages of this type of battery.



Fig. 1.6 Structural diagram of electric bus

The charging time is up to 10 seconds on average. The super capacitor can not be charged beyond its capacity, which does not require a system that will monitor the degree of charge, the current will simply cease to flow into it.

So, for today the topic is very relevant, because a limited amount of petroleum products and environmental pollution have made people think about the use of vehicles driven by electric energy. Therefore, the issue, which is one of the most important ones, is considered to be charging of electric transport.